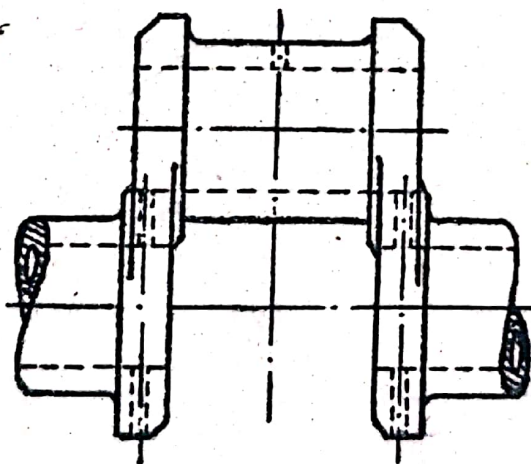


Dr.ing. AURELIAN CONSTANTINESCU  
Dr.ing. NICOLAE LAȘCU-SIMION

# OTELURI PENTRU CONSTRUCTII MECANICE

MARCI SI DOMENII DE UTILIZARE



OFICIUL DE INFORMARE DOCUMENTARA PENTRU APROVIZIONAREA  
TEHNICO-MATERIALA SI CONTROLUL GOSPODARIRII FONDURILOR FIXE  
BUCURESTI, 1983



Dr.ing. AURELIAN CONSTANTINESCU  
Dr.ing. NICOLAE LAȘCU-SIMION

# OTELURI PENTRU CONSTRUCTII MECANICE

MARCI SI DOMENII DE UTILIZARE

OFICIUL DE INFORMARE DOCUMENTARA PENTRU APROVIZIONAREA  
TEHNICO-MATERIALE SI CONTROLUL GOSPODARIRII FONDURILOR FECE  
BUCURESTI, 1983

Redactor: PETRE DAVID  
Corectură: ELENA ION  
ANA COJOCARU  
Prezentare PETRE VELNIȚĂ  
grafică:  
Dactilografie: VICTORIA ROȘIOARĂ

---

Lucrare executată în atelierul Oficiului de informare  
documentară pentru aprovizionarea tehnico-materială  
și controlul gospodăririi fondurilor fixe. București,  
Str. Nufierilor, nr. 24, sect. 1

---



## SUMAR

|                                                                                                                                                             | Pag. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| PREFATA . . . . .                                                                                                                                           | 5    |
| CAP.1. ROLUL MATERIALELOR METALICE IN PROIECTAREA<br>ORGANELOR SI ELEMENTELOR COMPONENTE DE MA-<br>SINI . . . . .                                           | 7    |
| 1.1. Alegerea materialelor . . . . .                                                                                                                        | 7    |
| 1.2. Factori importanți ce trebuie avuți în vedere la<br>proiectare . . . . .                                                                               | 18   |
| 1.3. Valorificarea proprietăților mecanice în cadrul pro-<br>iectării . . . . .                                                                             | 27   |
| CAP.2. PRINCIPALELE FAMILII DE OTELURI PENTRU CONS-<br>TRUCTII MECANICE . . . . .                                                                           | 42   |
| 2.1. Cerințe și caracterizare . . . . .                                                                                                                     | 42   |
| 2.2. Clasificarea oțelurilor pentru construcții mecanice. . . . .                                                                                           | 43   |
| 2.3. Oțelurile pentru recipiente, cazane și structuri me-<br>cano-sudate . . . . .                                                                          | 45   |
| 2.4. Oțelurile pentru organe și alte elemente componen-<br>te de mașini . . . . .                                                                           | 52   |
| 2.5. Oțelurile pentru ambutisare sau îndoire la rece . . . . .                                                                                              | 66   |
| 2.6. Oțelurile pentru arcuri . . . . .                                                                                                                      | 67   |
| 2.7. Oțelurile pentru rulmenți . . . . .                                                                                                                    | 68   |
| 2.8. Nomenclatorul mărcilor de oțel pentru construcții<br>mecanice, tipizate în R.S. România și corespondența<br>lor cu cele produse în alte țări . . . . . | 69   |
| CAP.3. DISTRUGEREA PIESELOR MECANICE PRIN OBOSEALA . . . . .                                                                                                | 94   |
| 3.1. Considerații generale . . . . .                                                                                                                        | 94   |
| 3.2. Aspectul rupturilor prin oboseală, în funcție de na-<br>tura tensiunilor, forma pieselor și condițiile exte-<br>rioare . . . . .                       | 97   |
| 3.3. Tehnica examinării rupturilor prin oboseală . . . . .                                                                                                  | 107  |
| 3.4. Examinarea rupturilor prin oboseală cu ajutorul mi-<br>croscopului electronic . . . . .                                                                | 122  |
| 3.5. Îmbunătățirea durabilității pieselor de mașini . . . . .                                                                                               | 126  |
| CAP.4. INFLUENTA DIVERSILOR FACTORI ASUPRA OBOSELII<br>METALELOR . . . . .                                                                                  | 144  |
| 4.1. Influența modului de aplicare a solicitărilor . . . . .                                                                                                | 144  |

|                                                                                                                   | Pag.       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2. Influența factorilor dimensionali și a geometriei . . .                                                      | 168        |
| 4.3. Temperatura . . . . .                                                                                        | 186        |
| 4.4. Acțiunea chimică a mediului . . . . .                                                                        | 206        |
| 4.5. Coroziunea de contact . . . . .                                                                              | 211        |
| <b>CAP. 5. PROPRIETĂȚILE DE ÎNTREBUINȚARE ȘI TEHNOLOGICE<br/>ALE OTELURILOR PENTRU CONSTRUCȚII MECANICE . . .</b> | <b>214</b> |
| 5.1. Oțelurile pentru recipiente, cazane și structuri me-<br>cano-sudate . . . . .                                | 214        |
| 5.2. Oțelurile pentru organe și alte elemente componente<br>de mașini . . . . .                                   | 252        |
| 5.3. Oțelurile pentru ambutisare sau îndoire la rece. . .                                                         | 300        |
| 5.4. Oțelurile pentru arcuri . . . . .                                                                            | 304        |
| 5.5. Oțelurile pentru rulmenți . . . . .                                                                          | 314        |
| <b>CAP. 6. RECOMANDĂRI PRIVIND ALEGEREA OTELURILOR PEN-<br/>TRU CONSTRUCȚII MECANICE . . . . .</b>                | <b>318</b> |
| 6.1. Oțeluri pentru recipiente, cazane și structuri meca-<br>no-sudate . . . . .                                  | 320        |
| 6.2. Oțeluri pentru organe și alte elemente componente<br>de mașini . . . . .                                     | 338        |
| <b>BIBLIOGRAFIE . . . . .</b>                                                                                     | <b>340</b> |



## P R E F A T A

Acest îndrumar își propune să pună la îndemîna inginerilor mecanici, care proiectează mașini, utilaje și instalații, elementele necesare pentru a utiliza cît mai eficace posibil oțelurile pe care le au la dispoziție.

Întrebarea pe care și-o pune cel interesat este - fără îndoială - dacă lucrarea de față aduce ceva nou în domeniu sau nu reprezintă decît republicarea, într-o altă formă, a unor informații și învățăminte ce se găsesc în lucrările similare anterioare.

Autorii țin, din capul locului, să răspundă la această întrebare, în sensul că ei au avut intenția ca, sprijinindu-se pe ceea ce s-a publicat în această direcție și făcînd apel la întreaga lor experiență profesională, acumulată de-a lungul anilor, să aducă elemente noi într-un domeniu destul de slab reprezentat în literatura de specialitate. Autorii s-au străduit ca, pe lîngă datele de prezentare a oțelurilor utilizate în industria construcțiilor de mașini, absolut necesare inginerului proiectant în tentativa sa de alegere a celei mai potrivite mărci de oțel pentru un ansamblu dat de condiții de lucru, să insiste asupra unor elemente mai rar tratate în lucrările de specialitate, dar care condiționează - în cel mai înalt grad - utilizarea rațională a materialelor.

Astfel, în cadrul lucrării, se insistă asupra importanței și rolului pe care îl au forma și dimensiunile piesei sau elementului proiectat, starea suprafeței și neomogenitățile de structură, puritatea chimică și incluzionară, disponibilitatea și ușurința de aprovizionare tehnico-materială, ansamblul operațiilor tehnologice prin care materialului i se dă forma dorită asupra alegerii mărcii de oțel și toți ceilalți numeroși factori la fel de importanți.

Fără a putea răspunde la toate situațiile pe care le ridică practica, informațiile și învățămintele cuprinse în îndrumar sînt în măsură să-l călăuzească pe proiectant spre o soluție rațională.

O mare atenție s-a acordat combaterii rupei fragile în cazul construcțiilor mecano-sudate și a oboselii în cazul pieselor sau celorlalte elemente în mișcare din componența mașinilor și utilajelor, atît sub aspectul alegerii mărcii, cît și al grijii ce trebuie acordate și celorlalți factori ce determină buna comportare în serviciu a structurilor proiectate.

La sfârșitul muncii pe care au depus-o pentru elaborarea acestei lucrări - sub egida Comisiei de raționalizare a consumului de oțeluri aliate - autorii își exprimă speranța că, în urma consultării acestui îndrumar, inginerii proiectanți vor avea o imagine mai clară asupra importanței pe care o are alegerea corectă a materialelor, adoptând soluții mai sigure și mai economice.

Autorii



## CAPITOLUL I

### ROLUL MATERIALELOR METALICE IN PROIECTAREA ORGANELOR SI ELEMENTELOR COMPONENTE DE MASINI

Buna pregătire profesională a inginerului proiectant se valorifică prin asigurarea unui echilibru rațional între aspirațiile estetice și imperativele funcționale, constructive și economice ale mașinilor, utilajelor și instalațiilor pe care le concepe. Rolul lui constă în dozarea corectă a factorilor cunoscuți, determinați, cu cei rezultați din intuiție și experiență, iar reușita activității sale - oricare ar fi orientarea pe care o are - va depinde, întotdeauna, de modul în care va ști să realizeze o sinteză optimă a factorilor inițial contradictorii.

În această perspectivă, materialul ocupă un loc preponderent. El este atât de important încât cel ce nu ține cont de el suportă imediat consecințele. Din această cauză, importanța care se acordă, în activitatea inginerescă, materialului și tehnologiei sale este unanim recunoscută, dar - din păcate - nu întotdeauna respectată.

Cunoașterea precisă a ansamblului de proprietăți și a comportării materialelor constituie fundamentul cel mai sigur pentru integrarea lor optimă în cadrul construcției.

#### 1.1. Alegerea materialelor

La alegerea materialelor, factorul decisiv îl constituie stabilirea prealabilă a concepției proiectării.

În trecut, stabilirea formei funcționale se făcea exclusiv pe baza intuiției, iar calitatea produselor și durabilitatea lor erau consecința unei prelucrări artisanale, deosebit de îngrijită. Nu trebuie neglijat nici faptul că, în acea vreme, construcțiile, mașinile și utilajele erau - de regulă - supradimensionate, fiind realizate cu un consum mare de materiale.

În prezent, forma și funcționalul în proiectare se bazează mai puțin pe intuiție și mai mult pe experiența tehnică acumulată, iar calitatea și durabilitatea sînt obținute printr-o prelucrare adecvată, în limitele unor parametri tehnologici riguros respectați și controlați.



Cu tot progresul tehnic, realizat în ultimii ani, alegerea unui material pentru o întrebuințare specifică conține întotdeauna o serie de compromisuri, deoarece parametrii care-l călăuzesc pe inginerul specialist în utilizarea materialelor sînt variați și, adesea, nu prea bine definiți. Rezolvarea cu succes a acestor compromisuri depinde, în mare măsură, de experiența și pregătirea profesională a celui ce face alegerea. Compromisul cel mai des este acela care se referă la prețul de cost al piesei finisate și la riscurile legate de existența unui defect în material. Din acest punct de vedere, de exemplu, un proiectant de autoturisme sau aeronave trebuie să facă față unui volum mai mare de cerințe, asupra cărora trebuie să decidă, în comparație cu un proiectant de ventilatoare sau aspiratoare de praf.

### 1.1.1. Criteriile de alegere a materialelor

În fiecare caz în parte costul materialului este, de regulă, mic în comparație cu cel al piesei. Excepție fac piesele cu un grad de prelucrare foarte redus, dar ponderea cheltuielilor materiale scade pe măsură ce prelucrarea este mai avansată sau mai precisă. În aceste condiții, este evident că influența diminuărilor sau remizelor (practicate în unele țări capitaliste industrializate de către furnizorii de materiale sub presiunea consumatorilor) asupra costurilor finale este lipsită de importanță, ba chiar, în perspectivă, aceste reduceri de prețuri pot avea repercusiuni mult mai puțin favorabile, decît pare la prima vedere.

De aceea, îmbunătățirea reală a prețului de revenire a unei piese trebuie căutată în alte direcții, ceea ce subliniază importanța factorilor esențiali pentru alegerea materialului la construcția unei piese mecanice. Acești factori sînt:

- categoria de oțel utilizat; (oțel carbon obișnuit; oțel carbon de calitate; oțel slab-aliat sau aliat);
- tipul de semifabricat: (bară brută, laminată; bară laminată cu finisare specială; piesă forjată sau matrițată; piesă turnată);
- tratamentul termic sau termo-chimic: (normalizare; îmbunătățire; alte tratamente termice).

#### 1.1.1.1. Marca de oțel

Se cunoaște efectul deosebit de favorabil al tipizării mărcilor de oțel asupra posibilităților de alegere. Pentru problemele de mecanică curentă dispunem în prezent de un număr suficient de mărci, bine definite prin compoziția lor chimică și caracteristicile mecanice,



ceea ce le permite să răspundă corespunzător tuturor problemelor și condițiilor pe care le ridică domeniile lor de utilizare.

Mărcile de oțel destinate mecanicii curente pot fi clasificate în cinci mari familii al căror componenți prezintă o serie de trăsături comune, în principal în ceea ce privește calitatea produselor:

- familia oțelurilor pentru recipienți, cazane și structuri mecano-sudate;
- familia oțelurilor pentru organe și elemente componente de mașini;
- familia oțelurilor pentru piese ambutisate sau îndoit la rece;
- familia oțelurilor pentru arcuri;
- familia oțelurilor pentru rulmenți.

#### 1.1.1.2. Semifabricatul de pornire

Alegerea acestuia prezintă o importanță la fel de mare ca și cea a mărcii de oțel, deoarece influența sa asupra comportării piesei, dar mai ales asupra prețului său de revenire este, de cele mai multe ori, deosebit de importantă.

În funcție de forma, dimensiunile și tipul de solicitări la care este supusă piesa ce se proiectează, proiectantul dispune - în ceea ce privește semifabricatul de pornire - de mai multe soluții.

Semifabricatele turnate permit obținerea unor piese cu forme relativ complicate, care pot rămâne neprelucrate în zonele în care nu se cere o precizie ridicată sau calități deosebite de suprafață.

Caracteristicile mecanice ale pieselor turnate sînt mai mult sau mai puțin inferioare, în funcție de marcă, față de piesele realizate din semifabricate forjate sau din bare prelucrate. În schimb, calitățile lor de frecare sînt net superioare, ceea ce explică preferința soluției turnate în fabricarea palierelor (lagăre de alunecare).

Obligația de a construi un model sau o formă, care-și amortizează prețul pe întreaga serie a pieselor turnate, exclude fabricația seriilor mici.

Semifabricatele forjate, matrițate sau presate permit, de asemenea, obținerea unor forme variate și asigură pentru fiecare marcă de oțel caracteristici mecanice mai ridicate în comparație cu celelalte moduri de obținere a semifabricatului. Calitățile de frecare sînt inferioare celor ale pieselor turnate.

Prin forjare liberă se pot obține piese unicate și în serie mică, dar prețul este ridicat. Presarea și matrițarea, cerînd scule speciale (matrițe), nu se aplică decît la seriile mari.



Piese prelucrate din bare brute, laminate constituie modul de fabricație cel mai răspândit. Acest mod de prelucrare se aplică, în aceleași condiții, atât pieselor unicate, cât și seriilor mici, mari și foarte mari, dar forma pieselor trebuie, de preferință, să fie de revoluție pentru a permite prelucrarea la strung.

Caracteristicile mecanice ale pieselor prelucrate din bare, ținând seama de progresele din metalurgie, sînt astăzi practic comparabile cu cele ale pieselor forjate, calitățile de frecare sînt, însă, inferioare celor ale pieselor turnate.

Dacă anumite porțiuni nu sînt prelucrate, suprafața lor poate fi destul de grosieră.

Piese prelucrate din bare relaminate. Principiul este același, dar o relaminare a barelor determină o finisare a stării de suprafață, dimensiunea barei relaminate fiind adusă la nivelul cotei porțiunilor ce rămîn în stare brută.

Piese prelucrate din bare trase. Prin utilizarea barelor trase se urmăresc două obiective:

- să se permită prelucrarea pe strunguri automate al căror sistem de alimentare nu tolerează decît abateri foarte strînse de la cotele nominale;

- să se obțină suprafețe frumoase, neprelucrate.

Piese mecano-sudate. Procedul constituie un mijloc preferabil de obținerea a pieselor mecanice care nu sînt de revoluție (piese plate în majoritate); semifabricatul de pornire fiind tabla, este normal să se albească în vedere cu prioritate acest procedeu de fabricație cînd ne referim la construcțiile de utilaje tehnologice.

### 1.1.1.3. Tratamentele termice

Prezentarea în detaliu a acestei probleme foarte complexe depășește cadrul acestui îndrumar; dorim numai să subliniem interesul pe care-l prezintă tratamentele termice și termo-chimice în ceea ce privește obținerea tuturor proprietăților prescrise numeroaselor piese, precum și necesitatea de a aplica corect tratamentul adecvat mării de oțel utilizat.

Principalele tratamente termice aplicate în industria construcțiilor de mașini sînt următoarele:

Omogenizarea, tratament ce imprimă ansamblului piesei caracteristici mecanice absolut identice și elimină eventualele tensiuni locale produse în timpul laminării și prelucrărilor ulterioare.

Normalizarea ameliorează caracteristicile mecanice prin -tr-o călire dulce, la aer.



Recoacerea, tratament prin care se îmbunătățește prelucrabilitatea, dar se diminuează rezistența la tracțiune.

Călirea urmată de revenire (îmbunătățirea), de regulă, im-primă piesei proprietățile optime.

Călirea superficială. Prin acest tratament se căleşte numai suprafața piesei pe o adâncime de câteva zecimi sau 2-3 milimetri, în timp ce restul piesei nu este afectat prin tratament. În cazul pieselor ce necesită un astfel de tratament este nerecomandabilă utilizarea de oțeluri aliate. Tratamentul se realizează la flacără sau electric cu frecvență medie sau înaltă.

Cementarea, nitrurarea și celelalte tratamente termo-chi-mice reprezintă procedee chimice de durificare înaltă, superioară.

Oțelurile carbon de calitate și cu deosebire cele aliate tre-buie utilizate în stare tratată termic. Dacă pentru un motiv oarecare nu poate fi aplicat un tratament, este inutil a se utiliza oțeluri scum-pe, seria OL 60 - OL 70 fiind - de regulă - corespunzătoare.

Este interesant de remarcat că datorită accentuatului pro-gres tehnic realizat, în ultimii ani, în domeniul prelucrării, deseori es-te recomandabil să se procure de la furnizori bare de oțel gata trata-te pentru o rezistență la tracțiune în jur de  $1\ 000\ \text{N/mm}^2$ .

Aplicarea unui tratament termic incorect, care nu convine unei mărci date de oțel, sau nerespectarea parametrilor tehnologici poate să provoace nu numai neplăceri, dar chiar catastrofe. De aceea, stabilirea și aplicarea unui tratament termic trebuie făcute întotdeauna de un specialist avertizat.

### 1.1.2. Defectele semifabricatelor

Detectarea defectelor semifabricatelor înainte introducerii în fluxul de prelucrare cade în sarcina controlului calității. Deseori a-cest lucru este dificil, mai ales dacă "controlul de calitate" nu dispu-ne de mijloace de investigație nedestructive (magnetoscoape, aparate cu ultrasunete etc.). În cadrul acestui capitol ne vom limita la descrierea tipurilor de defecte întâlnite.

#### 1.1.2.1. Defecte geometrice

Semifabricatele turnate sau forjate pot prezenta deformații față de configurația pieselor finite ce trebuie obținute din ele. Bara la-minată poate fi strîmbă sau ovalizată în secțiunea sa. Astfel de defec-te sînt total interzise, în cazul în care este imposibil să se formeze piesa datorită lipsei de material în anumite porțiuni, deoarece în a-



ceastă situație semifabricatul nu poate fi utilizat, în celelalte cazuri prelucrarea este dificilă, ceea ce sporește costurile de fabricație.

Pentru a evita astfel de defecte, care dau naștere la litigii aspre între producători și prelucrători, proiectantul trebuie să manifeste cea mai mare grijă, precizînd la comandă toate toleranțele dimensionale ale cotelor semifabricatului, precum și documentul normativ de standardizare după care se livrează materialul respectiv.

#### 1.1.2.2. Defecte superficiale

Pentru semifabricatele turnate aceste defecte sînt: urme de nisip, incluziuni dure de suprafață, crăpături superficiale. Defectele de acest tip pot spori considerabil dificultățile de prelucrare, dar ele nu alterează niciodată "sănătatea" piesei.

#### 1.1.2.3. Defecte interne

Aceste defecte sînt de cele mai multe ori dificil de detectat și sînt cu atît mai periculoase cu cît afectează întotdeauna "sănătatea" piesei; exceptînd unele cazuri rare, defectele interne determină rebutarea pieselor respective.

Defectele de acest tip rezultă fie dintr-o lipsă de precauție, fie dintr-un accident și constau în cazul pieselor turnate în sufluri și segregajii de carbon sau elemente de aliere, iar în cel al pieselor forjate sau din bare laminate în incluziuni sau segregajii.

În ceea ce privește incluziunile nu trebuie pierdut din vedere că oțel absolut pur nu există decît în laborator.

Toate oțelurile industriale conțin incluziuni; proiectantul trebuie, deci, să stabilească nivelul acceptabil de incluziuni pentru piesa pe care o concepe și să-l precizeze la comandarea materialului (scara standardizată).

O eroare foarte gravă este depășirea intervalului de variație a compoziției chimice a mării de oțel aleasă, ale cărei consecințe trebuie analizate în fiecare caz în parte.

#### 1.1.3. Utilizarea mijloacelor moderne de calcul la alegerea materialelor în proiectare

Pentru o utilizare specifică, dată, proiectantul trebuie să aleagă materialul optim atît din punct de vedere tehnic, cît și economic. Pentru îndeplinirea - în condiții corespunzătoare - a acestei obligații,



el trebuie să posede vaste cunoștințe în ceea ce privește comportarea materialelor în diversele situații pe care le ridică practica.

Cunoașterea materialelor reprezintă, deci, completarea necesară adusă proiectării și construcției, deoarece toate procesele fizice sînt legate de material. Materialul este purtătorul tuturor forțelor și mișcărilor la care sînt supuse diversele piese componente ale unui produs (mașină, utilaj, instalație etc.). Dacă proiectantul nu alege materialul corespunzător pentru construirea unui aparat și nu îl aduce în forma corectă, necesară funcționării lui în timp, atunci toate calculele referitoare la fenomenele fizice nu ajută la nimic.

Premisa îndeplinirii cu succes a obligației de a alege corect și rațional materialul necesar, într-un anumit caz, o reprezintă cunoașterea - în ansamblu - a caracteristicilor principale și a comportării - în principiu - a diverselor materiale, cum ar fi fontele și oțelurile, masele plastice, silicații etc. Aceste date trebuie însușite de proiectant, care are obligația să le stăpînească bine și să le completeze în permanență. O a doua premisă constă în cunoașterea comportării acestor materiale în cele mai diferite stări și sub cele mai variate solicitări. Toate acestea presupun un volum mare de date referitoare la materialele existente și la cele noi asimilate, precum și la diferiți factori de influență, pe care astăzi proiectantul nu-i mai poate stăpîni fără aportul informaticii. Datele referitoare la caracteristicile de bază ale diverselor materiale utilizate în economia noastră națională pot fi determinate prin metode experimentale ce ne stau la îndemînă și pot fi cunoscute și stăpînite de către proiectant; lucrurile se prezintă asemănător și în ceea ce privește prețurile lor de achiziție și costurile operațiilor de prelucrare.

Informațiile referitoare la comportarea specifică a materialelor în diferite stări de solicitare, însă, dat fiind volumul actual și în continuă extindere a cunoștințelor, sînt extrem de numeroase și greu de reținut. De aceea, în condițiile utilizării mijloacelor clasice, proiectantul nu mai este în stare să aleagă materialul cel mai potrivit din punct de vedere tehnic și economic pentru un scop constructiv dat. Odată cu progresul tehnic, o alegere cu adevărat rațională nu va fi posibilă decît dacă se creează posibilitatea stabilirii "obiective" a materialului optim, pe baza caracteristicilor necesare utilizării respective.

Această posibilitate este condiționată de proiectarea și implementarea unui sistem informațional referitor la caracteristicile materialelor și utilizării lor economice.



### 1.1.3.1. Banca de date referitoare la factorii ce determină alegerea materialelor metalice în proiectare

În această situație, și ținând seama că utilizarea rațională a materialelor în funcție de caracteristicile lor constituie o componentă principală a obligației pe care o are proiectantul de a asigura reducerea permanentă a consumurilor materiale specifice, în scopul ridicării continue a eficienței economice a activității sale - în special - și respectiv a economiei naționale - în general -, este necesar ca practicile tradiționale să fie înlocuite cu metode moderne, care să permită stabilirea obiectivă a materialului optim, plecând de la caracteristicile necesare fiecărei utilizări, în parte și de la costurile de achiziție și prelucrare. Între aceste metode, prelucrarea automată a datelor ocupă un loc de prim ordin.

În acest sens, este de reținut posibilitatea elaborării și implementării unui sistem informațional referitor la caracteristicile materialelor și alegerea lor rațional-obiectivă (SIMAR). Baza unui asemenea sistem constă în existența unei bănci de date care să cuprindă tot necesarul de informații tehnice și economice referitoare la materialele utilizabile în economia națională și pe baza cărora să se poată stabili materialul optim pentru un scop vizat.

Prin alegerea obiectivă a materialului, plecând de la caracteristici și costuri, rezultă următoarele avantaje:

- valorificarea superioară a proprietăților materialelor (se determină materialul cel mai indicat, care este exploatat la maximum, ținându-se seama de principiile de funcționare);
- utilizarea stocurilor de materiale nefolosite sau puțin folosite (se evidențiază posibilitățile de întrebuințare a unor materiale ce nu pot fi valorificate în cazul unei alegeri subiective);
- rezolvarea problemelor de înlocuire a materialelor tradiționale (în cursul unei determinări obiective, de regulă se indică mai multe posibilități, alegându-se materialul cel mai convenabil în situația respectivă);
- introducerea accelerată și utilizarea adecvată a materialelor noi.

Sistemul informațional pentru materiale și alegerea lor rațională (SIMAR), pentru a putea opera corespunzător, trebuie să cuprindă toate întreprinderile și centralele industriale, inclusiv institutele de cercetări și proiectări din ramurile primare producătoare de materiale, cele din domeniile prelucrătoare-consumatoare, precum și centrul de memorare și prelucrare automată a datelor pentru alegerea rațională a materialelor.



Determinarea caracteristicilor materialelor și comunicarea datelor numerice respective la centrul de alegere a materialelor în cadrul sistemului revin - în mod logic - ramurilor primare producătoare, dar și ramurile prelucrătoare-consumatoare au datoria de a comunica toate informațiile pe care le dețin din experiența proprie referitoare la comportarea diferitelor materiale în timpul prelucrării, precum și la costurile specifice ale diverselor operații de prelucrare. La rândul său, centrul de alegere trebuie să asigure crearea bazelor științifice, organizatorice și metodologice necesare funcționării sistemului, precum și de alcătuire a băncii de date și de răspândire a informațiilor. După implementarea sistemului, operația de alegere a materialelor trece în sarcina centrului de alegere, proiectantul adâncind, în schimb, analiza condițiilor în care va lucra materialul ce trebuie ales.

#### 1.1.3.2. Volumul și structura informațiilor

Dacă ne referim la alegerea materialelor în industria construcțiilor de mașini, sistemul informațional al materialelor trebuie să cuprindă toate materialele ce se utilizează în această ramură. Acest volum mare de informații rezultă din aceea că SIMAR nu-și poate îndeplini integral sarcinile decât atunci când cuprinde toate materiile prime și materialele care - prelucrate - se regăsesc în produsul finit, precum și cele necesare în procesul de fabricație, dar care nu se regăsesc în produs.

Materialele disponibile au proprietăți multiple și diferite. Aceste proprietăți pot fi utilizate integral pentru intensificarea economisirii materialelor, numai pe baza unei caracterizări cantitative prin intermediul așa numiților indici de material. Recurgerea la mijloacele de prelucrare automată a datelor necesită o structură unitară, constanță a descrierii și definirii materialelor și proprietăților lor prin intermediul parametrilor și indicilor caracteristici. Această structură este dată de o serie de date experimentale numerice, referitoare la caracteristicile materialelor. De regulă, structura unitară a datelor memorate în banca de date este asigurată prin: materiale; parametri materialului; indicii materialului; factorii de influență; starea materialului.

Prin material, în cadrul sistemului, se înțeleg toate substanțele sau combinațiile de substanțe (rețeta) din care prin prelucrare se pot confecționa produse finite, precum și substanțele care îndeplînind funcții auxiliare în cursul acestor procese și al exploatării produselor nu se regăsesc încorporate în alcătuirea lor.

Parametrul este o proprietate a materialului, posibilă de exprimat cantitativ și deci măsurabilă, care este definită și stabilită



prin prescripții corespunzătoare de determinare; parametri sînt, de exemplu, rezistența la tracțiune, limita de curgere, limita tehnică de fluaj, conductibilitatea termică, rezistivitatea electrică etc. Proprietățile materialului sînt caracteristicile lui specifice: reacții, modificări, stări sau alte fenomene care caracterizează comportarea materialului ca relație între cauză și efect.

Indicele de material este o mărime care reprezintă cantitativ parametrul unui material în funcție de dependența lui față de starea materialului și de factorii de influență. De regulă, el este exprimat ca produs între mărime și unitatea de măsură; de exemplu, 360 N/mm<sup>2</sup> pentru limita de curgere.

În anumite cazuri, reprezentarea indicilor poate fi făcută prin:

- semne convenționale, de exemplu S 1 la S 6 pentru stabilitatea arcului electric;
- gradare definită: neinflamabil - greu inflamabil - inflamabil - ușor inflamabil (pentru inflamabilitate), în care caz datele calitative trebuie completate cu diferiți factori;
- enunțuri alternative: bun - rău.

Starea materialului este caracterizată prin factori care determină conformația interioară și exterioară a acestuia. Noțiunea cuprinde, de exemplu, date referitoare la macro sau microstructură, grad de deformare sau prelucrare, tratament termic, starea suprafeței, format (țeavă, tablă, granule, emulsie etc.) și dimensiuni.

Factorii de influență sînt mărimile sub a căror influență se află materialul în cursul utilizării (condițiile de lucru) și care sînt modificate în cadrul încercării, ca modelare a condițiilor de utilizare, ca de exemplu: temperatura de lucru, durata solicitării, numărul de cicluri, viteza de solicitare etc.

O anumită proprietate a unui material dat, în stări bine precizate și sub influența unor condiții exterioare specifice, (de exemplu, rezistența la oboseală) este reprezentată cantitativ printr-un factor, după cum urmează:

| <u>Material</u> | <u>Parametrul</u>     | <u>Indicele</u>       | <u>Factorii de</u>                                                                                                                              | <u>Starea materialu-</u>                                                           |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 13CrNi30        | Limita de<br>oboseală | 250 N/mm <sup>2</sup> | <u>influență</u><br>10 <sup>7</sup> cicluri,<br>20°C, soli-<br>citare alter-<br>nant-simetri-<br>că de încovo-<br>lere, fără con-<br>centratori | <u>lui</u><br>bară laminată la<br>cald, $\phi$ 45 mm <sup>2</sup> ,<br>normalizată |



Din exemplul dat, reiese clar că un indice de material nu depinde, de regulă, numai de material, ci și de starea sa, precum și de factorii de influență și, în consecință, delimitarea univocă a domeniului de valabilitate a indicelui de material este asigurată numai în cazul în care se iau în considerare toate datele, în ansamblul lor.

În SIMAR toate informațiile trebuie sintetizate sub această formă și memorate în banca de date referitoare la materiale, o asemenea serie de caracteristici reprezentând câte un set de date. Pentru funcționalitatea sistemului de alegere obiectivă a materialelor prin recurgerea la SPAD este esențial ca solicitările privind alegerea materialului optim să cuprindă aceleași caracteristici ca și cele din setul de date înmagazinat în memoria calculatorului.

#### 1.1.3.3. Posibilitățile sistemului informațional referitor la materiale

Existența băncii de date din cadrul SIMAR permite ca prin intermediul calculatorului să se poată efectua fie alegerea materialului optim într-un caz dat, fie comunicarea indicilor de material în condiții date, precizate prin starea materialului și factorii de influență.

Alegerea materialului este selectarea unui material care corespunde cât mai bine din punct de vedere tehnic și economic condițiilor de utilizare prevăzute, exprimate sub formă de parametri și precizate prin indici. În cadrul sistemului, alegerea materialului trebuie să fie posibilă și pe baza unei descrieri calitative a condițiilor de lucru în eventualitatea că cerințele impuse de condițiile de utilizare nu pot fi reprezentate sub formă de parametri și indici.

O formă deosebită a alegerii obiective a materialelor o constituie stabilirea materialelor de înlocuire, în cadrul căreia se caută pentru un material tradițional, utilizat până în momentul recurgerii la sistem, un altul care să corespundă aceluiași cerințe și care să poată înlocui favorabil din punct de vedere tehnic și economic materialul folosit anterior.

Alegerea indicilor permite cunoașterea indicilor unui material dat sau selectarea materialului care posedă un anumit set de indici. În funcție de gradul de precizare a cererii prin stabilirea stării materialului, a factorilor de influență și a parametrilor necesari se pot comunica o parte care interesează sau toți indicii materialului respectiv.

Sistemul SIMAR, bazat pe calculator și cuprinzând cele două laturi ale alegerii - selectarea și proprietățile -, oferă avantajul unei informări operative, actuale, asupra materialelor și, mai ales, avan-



tajul unei selecții obiective a materialului, care să corespundă cel mai bine unei utilizări date.

Pentru a asigura acest deziderat major, alegerea materialului trebuie să pornească de la condițiile la care este supus în cursul utilizării. Aceasta presupune că proiectantul, eliberat de sarcina alegerii materialului, va analiza și aprofunda solicitările la care este supus produsul sau piesa pentru care se utilizează materialul, va deduce cerințele care se pun materialului și le va exprima, în cât mai mare măsură, în parametri și indici. Cu cât condițiile de solicitare a produsului sau piesei vor fi analizate mai exact și cu cât profilul cerințelor puse materialului vor fi mai bine precizate, cu atât răspunsurile date de calculator vor fi mai corecte și mai eficiente.

## 1.2. Factori importanți ce trebuie avuți în vedere la proiectare

### 1.2.1. Forma geometrică

Forma geometrică a pieselor exercită influența cea mai puternică asupra comportării unui material în cadrul unui ansamblu. De obicei, forma este determinată - în primul rând - de condițiile funcționale ale piesei respective. De aceea, este necesar ca proiectantul să analizeze comportarea materialelor în legătură cu forma piesei încă din fazele preliminare ale proiectării. În mod special, trebuie avut în vedere că toate materialele folosite în tehnică posedă tendințe inerente atât pentru fragilitate, cât și pentru ductilitate în funcție de condițiile externe, printre care se numără și forma piesei. Aplicarea riguroasă a unor principii constructive consecvente este impiedicată de necunoașterea deplină a tuturor factorilor fundamentali care determină comportarea diferitelor materiale sub stările de tensiuni ce rezultă din configurațiile geometrice complicate ale numeroaselor piese și elemente componente, necesare funcționării unei mașini sau utilaj.

Cu toate succesele remarcabile înregistrate în direcția folosirii raționale a materialelor, obstacolul cel mai serios în calea unui progres și mai evident constă în înțelegerea și valorificarea aspectelor fundamentale ale comportării materialelor sub influența geometriei piesei.

Tensiunea este o mărime cu un caracter deosebit, neputând fi măsurată într-un sens absolut. În prezent, după cum se știe, tensiunea este măsurată ca o medie pe un număr finit de grăunți în situația în care materialul se află solicitat sub limita de proporționalitate; deducerea tensiunii se bazează pe proporționalitatea simplă dintre tensi-



ne și deformările (legea lui Hooke). Dacă materialul este solicitat peste limita de proporționalitate, legea lui Hooke își pierde valabilitatea și tensiunea nu mai poate fi dedusă decât din curba tensiune - deformare, corespunzătoare materialului respectiv.

Efectuînd dimensionarea unei plese, proiectantul întîmpină - de regulă - dificultăți lucrînd cu media tensiunilor pe care le consideră că se dezvoltă în plesa respectivă sub acțiunea presupuselor forțe de serviciu; procedînd în acest fel, el neglijează, cel mai adesea, concentrările locale de tensiune din anumite zone ale structurii respective. Acesta este cazul, deseori întîlnit, al unor tensiuni datorate unor condiții constructive locale sau unor defecte produse de unele mecanisme ale fenomenului de oboseală.

Tensiunile se nasc în material datorită fie unor sarcini statice, fie dinamice, fie din combinațiile amîndurora. Dacă tensiunea este de natură statică, pentru soluțiile de proiectare sînt valabile formulele din teoria elasticității. Aceste formule sînt bazate pe admiterea unor ipoteze ca aceea a materialelor continue și izotrope, ca și pe luarea în considerare a condițiilor la limită. De cele mai multe ori, proiectantul consideră, însă, aceste formule ca fiind exacte, neglijînd anizotropia accentuată a majorității materialelor folosite în industrie, precum și lipsa frecvență a corespondenței între forma reală a piesei și ipotezele geometrice atribuite problemei de bază, rezolvată pe cale teoretică.

Dezvoltarea avioanelor de foarte mare viteză și a rachetelor au deschis alte domenii, în care concepția de proiectare, bazată pe legea lui Hooke, nu mai este valabilă. Într-adevăr, în aceste cazuri trebuie luată în considerare și influența fluajului. Această necesitate a determinat, în ultimii ani, un efort susținut care a condus la obținerea unor date experimentale ce pot fi folosite într-o altă concepție de proiectare, aceea bazată și pe considerarea deformărilor plastice. Numeroase studii se referă la problema complexă a fluajului construcțiilor ingineresti la temperaturi ridicate. Dezvoltarea pe mai departe a acestor cercetări este necesară pentru a se asigura încrederea atribuită, de obicei, metodelor de calcul utilizate în domeniul elastic.

Stadiul actual al cunoștințelor, în acest domeniu, prezintă o importanță practică din ce în ce mai mare, întrucît ele stabilesc mai mult sau mai puțin riguros baza pentru compararea performanțelor diverselor materiale, ceea ce dă posibilitatea alegerii acestora pentru anumite utilizări particulare.



### 1.2.2. Oboseala metalelor

În cazurile în care intervin sarcini variabile ce pot cauza ruperi fără deformări plastice accentuate, rezistența la oboseală poate influența criteriile de proiectare. Alături de coroziune, oboseala este în prezent - fără îndoială - cea mai importantă cauză a scoaterii din uz a mașinilor și utilajelor, ca urmare a distrugerii unor piese sau subansamble componente. Într-adevăr, în timp ce proprietățile convenționale de rezistență statică sînt destul de tolerante în ceea ce privește necunoașterea de către noi a comportării materialelor în cadrul unor structuri ingineresti, proprietățile de oboseală sînt extrem de sensibile față de această necunoaștere, prezentînd diferențe apreciabile la variații mici ale unor condiții exterioare.

Din această cauză, cercetarea fenomenului de oboseală a necesitat o abordare minuțioasă a factorilor care condiționează apariția accidentelor și în cazul particular al unor aplicații de importanță deosebită s-a sugerat a se lua în considerare o evaluare statistică a proprietăților de oboseală. Spre deosebire de curba caracteristică tensiune-deformație din cazul solicitărilor statice, care poate fi obținută prin încercarea unei singure epruvete, curba de oboseală  $\bar{\sigma} = f(n)$ , care prezintă grafic comportarea materialului în condiții de solicitare variabilă, necesită un număr relativ mare de probe, pentru fiecare condiție de durată a tensiunii fiind necesară cel puțin cîte o epruvetă. În mod normal, atenția s-a concentrat asupra factorilor interni și externi care afectează rezistența la oboseală a diverselor materiale, cu scopul de a-i stăpîni mai bine.

Defectele de oboseală sînt întotdeauna mai greu de prevăzut decît cele provocate de solicitări statice, din cauza influențelor localizate, care generează asemenea defecte. În dezvoltarea fenomenului de oboseală sînt implicate mai multe mecanisme, care includ amorsarea și apoi propagarea unei fisuri.

Distribuția locală a tensiunilor, în fiecare punct al unei piese, constituie factorul cel mai important în condiții de solicitare la oboseală. Experiența a demonstrat importanța concentrărilor de tensiune (interne și externe) în concepția de proiectare și în alegerea materialelor, precum și importanța tehnicilor de prelucrare, deoarece acestea afectează comportarea la oboseală a materialului și a piesei. Datele experimentale referitoare la oboseala materialelor, în condiții de solicitare compusă, sînt limitate din cauza dificultăților pe care le ridică efectuarea unor asemenea încercări în laborator. Ele par să arate că amorsarea fisurilor se produce în conformitate cu teoria lui Mises - Hanky (tensiunea tangențială maximă jucînd rolul esențial) și că propagarea fisurilor este determinată, în primul rînd, de tensiunea normală maximă.



Pentru a putea determina sensibilitatea la încreștere a unui anumit material este necesară slăbirea acestuia prin prezența unei creștături, într-o anumită condiție specifică de încercare. Alegerea unui material, din acest punct de vedere, este determinată de nivelul slăbirii care poate fi admis într-o anumită piesă. Pentru proiectant ar fi deosebit de util dacă printr-o singură încercare s-ar putea stabili sensibilitatea la încreștere. Acest lucru nu este însă posibil, întrucât factorii care determină sensibilitatea la încreștere sînt extrem de complecși, depinzînd de tipul solicitării, geometria piesei și de numeroase caracteristici geometrice.

### 1.2.3. Tendința metalelor spre rupere fragilă

Încercarea de încovoiere prin șoc și cea de întindere pe epruvete crestate constituie metode utilizate curent pentru caracterizarea tendinței unui material dat spre fragilitate și pot fi, deci, folosite la o alegere prealabilă a materialelor necesare confecționării diverselor piese ale unei mașini sau utilaj.

În prezent, se recurge tot mai mult la încercările simulate a pieselor în mărime naturală, din următoarele motive:

- încercarea convențională, efectuată pe epruvete, nu conduce la rezultate care să poată fi corelate cu comportarea reală, în special în ce privește configurația geometrică a piesei, pe de o parte, și mărimea și distribuția tensiunilor, pe de altă parte;

- dimensiunile reduse ale epruvetei determină efecte diferite ale tratamentului termic față de cazul pieselor reale.

Numeroși concentratori de tensiune nu se pretează la o tabelare numerică a efectelor lor, așa cum este cazul caracteristicilor mecanice de rezistență, pe care se bazează calculele de dimensionare.

Sensibilitatea la încreștere a unui anumit material este o caracteristică legată intim de comportarea sa la rupere. În ultimul timp, sînt din ce în ce mai des efectuate experiențe pe epruvete mari, care au practicate fisuri și sînt puse în condiții în care acestea să se propage cu viteze diferite, așa-numitele încercări globale sau semi-globale. Prin aceste încercări s-a reușit să se evalueze factorii care influențează amorsarea fisurii și cei care determină viteza de propagare a acesteia. Din aceste puncte de vedere, viteza de deformare și temperatura exercită o influență deosebită. La viteze mai mari de deformare, fenomenul de histerezis face să apară ruperi prin clivaj, fără deformări mari prealabile. Același lucru se petrece în cazul materialelor feroase în situația creșterii temperaturii de tranziție. Ruperea fragilă presupune un ansamblu de condiții în cadrul cărora comportarea cunoscută a unui anumit material este inseparabil legată de modelul proiectat.



Folosirea coeficienților de siguranță practicați în calculele de proiectare se dovedește, în aceste cazuri, neeficientă. Pe de altă parte, scăderea temperaturii de tranziție pentru oțelurile folosite în condiții de favorizare a ruperii fragile reprezintă o problemă de importanță majoră.

Din păcate, actualele metode de încercare din practica curentă a laboratoarelor de încercări mecanice sînt neadecvate, iar ipotezele pe care se bazează teoria nu sînt suficient de exacte pentru a putea fi folosite cantitativ. Necesitatea unei rezistențe ridicate, legată de creșterea performanțelor tehnice și de tendința de micșorare a greutateii structurilor proiectate, impune folosirea în raționamentele de proiectare a unor criterii foarte exacte. De aici, se impune ca necesar un efort susținut în direcția definirii condițiilor care favorizează amorsarea și propagarea fisurilor, adică a mecanismului ruperilor fragile. Actuala concepție inginerescă asupra sensibilității la încreștere fiind satisfăcătoare în privința amorsării fisurilor, dar - în ciuda progreselor obținute - total insuficientă în ceea ce privește propagarea lor, mai rămîne mult de făcut pînă cînd aceste fenomene vor fi suficient înțelese pentru a fi aplicate corect. Pînă atunci, încercarea de reziliență va continua să fie folosită drept metodă de apreciere a tendinței spre fragilitate.

#### 1.2.4. Rigiditatea constructivă

Rigiditatea unei construcții depinde, în primul rînd, de concepția proiectării și, în al doilea rînd, de modulul de elasticitate al materialului. Prin urmare, pe lîngă modulele de elasticitate, proiectantul poate mări sau micșora rigiditatea unei construcții numai prin corecta proporționare a pleselor. Fiecare grup de materiale are un modul caracteristic de elasticitate. Acest modul, întocmai ca și densitatea, nu este sensibil la structură. Practica arată că modulele de elasticitate pentru oricare din materialele industriale variază puțin.

Avînd în vedere cele arătate, rezultă că este irațională folosirea unor materiale scumpe, cu proprietăți de rezistență ridicată, la executarea elementelor constructive a căror condiție de proiectare este deformația admisibilă și nu rezistența admisibilă. Într-adevăr, acest mod de dimensionare fiind determinat, în principal, de valoarea modulului de elasticitate, proprietățile superioare de rezistență nu sînt valorificate.

Majoritatea materialelor, cu excepția fontelor cenușii și a unor aliaje de magneziu, au același modul de elasticitate în cazul tracțiunii și respectiv al compresiunii. Această afirmație este, de re-



gulă, valabilă în condițiile în care materialul nu a suferit, în prealabil, unele procese de deformare care să-l afecteze proprietățile.

Menționăm că, în plus, modulul de elasticitate - factorul de proporționalitate dintre tensiune și deformare - constituie baza calculelor pentru stabilirea valorilor de rezistență.

### 1.2.5. Factorii externi

#### 1.2.5.1. Temperatura de lucru

Un factor extern din categoria condițiilor de lucru, care capătă tot mai mare interes, este temperatura de lucru. Într-un anumit sens, progresul tehnic depinde - în numeroase domenii - de modul în care se stăpânește comportarea materialelor sub tensiune la temperaturi ridicate. Temperatura ridicată introduce, însă, numeroase probleme adiționale, iar tendința proiectantului și a cercetătorului de a facilita rezolvarea problemelor complexe prin introducerea unor ipoteze simplificate, care rețin numai acei factori ce influențează comportarea de bază a materialului, face ca informația deținută să poată fi dificil aplicată la aceste probleme. Pentru a putea preciza ideile, este suficient să menționăm că majoritatea datelor experimentale asupra fluajului sînt obținute în cazul solicitării simple de tracțiune sub sarcină constantă. Aceste date sînt dificil de aplicat la problemele practice care cuprind stări de tensiune plane sau spațiale și, de asemenea, la acelea unde tensiunile sau temperatura sînt continuu variabile.

În prezent, eforturile cercetătorilor sînt îndreptate, susținut, în direcția realizării unor materiale mai rezistente la temperaturi ridicate și, totodată, a acumulării unor cunoștințe metalurgice mult mai precise asupra comportării materialelor în aceste condiții. Există tendința spre dezvoltarea de materiale destinate unor utilizări specifice, la temperaturi ridicate. În unele cazuri, proiectanții evită folosirea materialelor metalice la temperaturile considerate extreme prin prevederea unei răcirii a întregii structuri. În alte cazuri, unele aliaje, considerate anterior ca sensibile la anumite temperaturi, își găsesc o utilizare normală chiar la temperaturi situate în zona în care proprietățile materialelor respective erau considerate nestabile.

Progresul tehnic în acest domeniu nu trebuie să se manifeste neapărat în direcția dezvoltării unor aliaje metalice cu totul noi; se poate afirma - cu suficient temel - că aliajele metalice ale viitorului se găsesc printre cele existente. Într-adevăr, progresul cel mai rapid și spectaculos se poate asigura prin descoperirea unor soluții noi în proiectare și nu prin dezvoltarea sau punerea la punct a unor oțeluri sau aliaje principal noi. Tendința generală ce se manifestă în dome -



niul materialelor tehnice este de a îmbunătăți prin modificări adecvate aliajele existente în prezent și de a dirija aceste ameliorări spre nevoile specifice ale proiectării.

Este recunoscut că nu numai criteriile de proiectare se pot schimba când intervin temperaturi ridicate, ci se pot schimba și factorii tehnologici de prelucrare. În aceste cazuri, trebuie elaborate noi reguli pentru punerea în operă a aliajelor cele mai refractare.

Alegerea unui material poate fi uneori condiționată de ușurința cu care i se poate da forma finală a piesei, proprietățile de întreținere trecând pe planul doi. Într-adevăr, în numeroase cazuri o mare varietate de materiale au proprietăți de rezistență potrivite pentru o utilizare rațională, dar posedă proprietăți dificile de prelucrare. În aceste situații, alegerea materialelor se va face, evident, pe seama proprietăților tehnologice. Deseori se poate întâmpla ca procesele tehnologice și sculele corespunzătoare prelucrării aliajelor cu ductilitate ridicată la temperatura normală să se dovedească nepotrivite sau prea costisitoare în condițiile folosirii lor la prelucrarea materialelor termorezistente. Acest lucru este determinat de faptul că numeroase elemente care imprimă materialelor o bună rezistență la temperaturi ridicate au o influență negativă asupra prelucrabilității la temperaturile normale de prelucrare.

#### 1.2.5.2. Coroziunea

Un alt factor din categoria condițiilor de lucru, a cărui importanță crește continuu, este natura mediului în care lucrează piesa.

Din păcate, stabilirea nivelului de la care coroziunea constituie o problemă este extrem de dificilă și ea este lăsată la latitudinea proiectantului, care nu dispune de date suficiente pentru a-l ajuta în această tentativă. Într-adevăr, fiecare atmosferă corozivă înglobează un ansamblu de condiții ce trebuie luate în considerare, în termeni specifici pentru fiecare material.

Astfel, de exemplu, două materiale de compoziții diferite, satisfăcătoare, luate separat, pot alcătui în cadrul unei construcții o pilă electrolitică, în condiții în care atmosfera ambiantă furnizează electrolitul. În acest caz, se poate proteja numai unul din materiale și coroziunea se atenuează dacă protecția este corespunzătoare. Dacă protecția este inadecvată, efectul poate fi contrar și coroziunea accelerată. Toate materialele metalice se încadrează în serii galvanice. Poziția relativă a unuia față de celălalt determină, în fiecare caz în parte, raportul catodic sau anodic al materialelor. De regulă, materialele catodice sau nobile rezistă la atac, iar materialele anodice rezistă mai



puțin. De cele mai multe ori, problemele de coroziune sînt rezolvate în condiții avantajoase prin separarea factorilor legați de atmosfera ambiantă de cei legați de material, deși ei sînt interdependenți. Problema se rezolvă pe două căi: fie prin modificarea mediului de lucru (cînd este posibil), fie prin alegerea materialului sau a protecției corespunzătoare.

#### 1.2.6. Proprietățile tehnologice

Prelucrabilitatea, plasticitatea și sudabilitatea sînt proprietăți care condiționează punerea în operă a materialelor. Dezvoltarea acestor proprietăți tehnologice într-un anumit aliaj este realizată, adeseori, în detrimentul proprietăților de rezistență (de utilizare).

În primul rînd, tratamentele termice și deformarea plastică la rece sînt procese care influențează direct proprietățile de rezistență. În general, proiectantul trebuie să evite factorii ce pot cauza dificultăți, dar trebuie să-i folosească pe acela care pot oferi avantaje.

Viteza de așchiere, durabilitatea sculei și calitatea suprafețelor prelucrate diferă la fiecare proces de prelucrare. Ele sînt strîns legate de structura metalurgică a materialului. Pentru unele materiale, tratamentele termice sînt, într-o oarecare măsură, procese reversibile, astfel încît prin tratamente termice potrivite poate fi schimbată structura pentru a se obține o prelucrabilitate maximă. În prezent, numeroase compoziții de bază ale unor aliaje destinate prelucrării prin așchiere sînt modificate prin adăosuri mici de elemente care ameliorează prelucrabilitatea prin acest procedeu. Materialele foarte maleabile și ductile sînt, de regulă, greu de prelucrat prin așchiere, iar suprafața rezultată în urma acestei operații este de calitate slabă. Cu rare excepții, adăosurile mici de elemente care ameliorează prelucrabilitatea prin așchiere micșorează proprietățile de rezistență și provoacă o comportare anizotropă care se poate reflecta, într-o accentuată măsură, în comportarea pleselor fabricate din aceste materiale.

În numeroase cazuri, alegerea unui anumit material se bazează mai mult pe ușurința cu care i se poate da forma finală decît pe ansamblul proprietăților mecanice. Astfel, caracteristicile de bună plasticitate sînt adesea de primă importanță în alegerea materialelor.

Prelucrarea primară este, în general, efectuată de producătorul de materiale, care furnizează produse avînd forme utilizabile și cărora, ulterior, li se aplică o a doua prelucrare prin care se realizează produsul finit. Forjarea sau presarea la cald, laminarea și alte forme de prelucrare prin deformare plastică la cald nu realizează -



ză numai formele dorite, ci îmbunătățesc - așa cum s-a arătat - și proprietățile materialelor prin eliminarea unor defecte existente și ameliorarea structurii. O anumită formă poate fi uneori obținută prin laminare la rece sau trefilare. Prin aceste procedee se pot prelucra majoritatea materialelor tehnice, cu condiția ca volumele necesare de consum să justifice cheltuielile de producție. Forjarea și tragerea la rece îmbunătățesc, de asemenea, proprietățile mecanice. Unele procese de prelucrare prin deformare plastică la cald sau la rece sînt efectuate la o astfel de temperatură încît durificarea prin îmbătrînire mecanică să persiste; în această situație, rezistența materialului respectiv este sensibil crescută. Acest procedeu este deseori folosit în practică, ca de exemplu la fabricarea discurilor rotor ale turbinelor cu gaze.

Prelucrarea prin deformare plastică la rece durifică materialul, dar în unele cazuri, cînd se depășesc anumite praguri de deformare, materialul se poate fragiliza. Această fragilitate poate fi, însă, îndepărtată printr-un tratament termic adecvat.

Proprietățile mecanice ale pieselor prelucrate prin deformare depind de rigurozitatea respectării proceselor. Anizotropia proprietăților, legată de deformare, există în aproape toate aliajele, dar la un grad diferit și poate avea importanță considerabilă la proiectare, din cauza fenomenului de flambaj care însoțește solicitarea de compresiune. Formele geometrice complexe, realizate din tablă, prin ambutisare, implică nu numai îndoirea acesteia, ci și alungirea și scurtarea ei. Starea de tensiune este complexă, triaxială. Cu toate străduințele depuse, pînă acum nu s-a reușit să se pună la punct o metodă de încercare în laborator pe baza căreia să se poată anticipa, în mod corect, comportarea materialului în timpul ambutisării.

În prezent, nu se cunosc proprietăți fundamentale sau combinații între ele prin care să se poată aprecia cantitativ plasticitatea.

Alegerea unor materiale potrivite și un control riguros al procedeelor de sudură sînt necesare pentru a evita slăbirea îmbinării sudate sau a zonelor adiacente, afectate termic.

Cu cît un oțel se durifică mai mult în urma călirii, cu atît el este mai predispus la fisurare. Oțelul, care a fost durificat prin îmbătrînire mecanică sau printr-un tratament de îmbunătățire, este afectat de ciclul termic al sudării. Cu toate acestea, folosind o tehnică potrivită de sudare, oțelurile călibile și cele tratate termic se pot, în prezent, suda. Aceasta, deoarece o zonă dură foarte subțire, susținută de un material extrem de moale, nu afectează structura generală și nu se observă fisuri sau crăpături.

De regulă, faptul că o anumită piesă sau una asemănătoare a fost realizată anterior printr-un anumit proces tehnologic nu este un argument pentru folosirea în continuare a aceluiasi proces, fără a exa-



mina - mai întâi - și posibilitățile unor alte procese tehnologice competitive.

Progresul tehnic actual a făcut posibilă folosirea unor procese tehnologice considerate în trecut ca neraționale sau neeconomice, ba chiar imposibile. Așadar, alegerea materialelor depinde și de alți numeroși factori pe lângă cei exprimați cantitativ în tabelele de proprietăți mecanice, dar la fel de importanți. Condițiile de lucru nu pot fi exprimate întotdeauna în termeni cantitativi; în consecință, pentru a se asigura un proiect corect, este necesară o colaborare strânsă între inginerul proiectant și cel specializat în utilizarea metalelor.

### 1.3. Valorificarea proprietăților mecanice în cadrul proiectării

În stadiul actual al tehnicii, nu există metode experimentale prin care să se poată realiza în laborator ansamblul condițiilor reale de lucru. Încercările simulate, dezvoltate în ultimii 25 de ani, cărora li se supun subansamblele unei structuri sau structura însăși, se apropie extrem de mult de ceea ce se întâmplă în timpul serviciului. Cu toate acestea, determinările efectuate prin aceste încercări trebuie făcute cu foarte multă grijă atât în ceea ce privește supravegherea desfășurării încercării, cât și în ceea ce privește punerea în valoare a datelor experimentale astfel obținute. În cadrul unor încercări simulate condițiile de lucru sînt simplificate (de exemplu, mediul ambiant), în altele se accelerează procesele în vederea scurtării timpului de încercare (de regulă, încercările la temperaturi ridicate). În majoritatea cazurilor, printr-o încercare simulată se urmărește influența anumitor factori prin izolarea sau eliminarea celorlalți și printr-o simplificare accentuată a condițiilor întâlnite în cazurile reale. Prin încercările simulate se obțin date experimentale mai rapide și mai adecvate utilizării decît în cazul în care se recurge la corelări între comportarea materialului în exploatare și cea din timpul încercărilor convenționale de laborator. Caracteristicile convenționale, determinate în cadrul încercărilor mecanice de laborator, nu sînt întotdeauna cele vitale și aceasta poate determina o alegere greșită a unui material, care s-a dovedit corespunzător la astfel de încercări, dar care de fapt este departe de a satisface condițiile reale de lucru în cazul particular respectiv.

Dintre caracteristicile mecanice convenționale, foarte puține pot fi aplicate direct în proiectare. În aceste condiții, se pune întrebarea de ce continuă a fi considerate atât de importante încercările mecanice convenționale. Pentru a răspunde la această întrebare, vom preciza mai întâi că proiectarea este o activitate de elaborare a unor



forme geometrice, care să asigure exercitarea unor funcții bine precizate, în condiții specifice de lucru. Aceste condiții de lucru, după cum s-a mai arătat reunesec un ansamblu de factori variabili. Cunoașterea deplină a comportării diverselor materiale este urmarea tuturor rezultatelor obținute prin ansamblu experiențelor care privesc comportarea respectivă, în condițiile specifice de lucru. Valoarea încercărilor mecanice convenționale constă nu în aplicarea directă a datelor experimentale în proiectare, ci în evaluarea comparativă a diverselor materiale în condiții similare de lucru.

Intre caracteristicile mecanice ale materialelor și comportarea lor sub formă de piese există unele diferențe. Dimensiunile secțiunii transversale, forma geometrică (racordări, găuri, caneluri, bosaie etc.), tensiunile reziduale datorate tratamentelor termice sau prelucrării conduc - în ansamblu - la modificarea proprietăților mecanice ale materialului integrat într-un ansamblu.

### 1.3.1. Caracteristicile mecanice de tracțiune

Alegerea materialelor se bazează cel mai adesea pe caracteristicile mecanice de tracțiune. Rezistența la rupere ( $R$ ) și limita de curgere aparentă ( $R_c$ ) sau tehnică ( $R_{0,2}$ ) sînt proprietățile care se folosesc frecvent, dar care foarte rar sînt valorificate la adevărata lor semnificație. Aceste caracteristici, des utilizate, nu definesc rezistența unui material în alte condiții de sollicitare decît cele din cazul specific al încercării la întindere lineară. Limita de curgere aparentă este o proprietate mecanică cu o semnificație fizică bine precizată; la rîndul ei, limita de curgere tehnică corespunde unei valori convenționale a deformației permanente, judicios stabilită, în timp ce rezistența la rupere reprezintă forța maximă atinsă - în timpul încercării - raportată la secțiunea sa inițială, cu alte cuvinte o mărime convențională fictivă a comportării materialului încercat. Folosirea în proiectare a acestor caracteristici include introducerea unui coeficient de siguranță fie că este vorba de limita de curgere, fie de rezistența la rupere. Valorile specifice ale tensiunilor admisibile, astfel evaluate, depind de folosirea materialului respectiv. Din acest punct de vedere, proiectantul unei construcții metalice industriale, de exemplu, are în privința proiectării o concepție cu totul diferită față de proiectantul de automobile sau de ventilații.

Proprietățile de plasticitate statică (alungire și gîtuire la rupere) sînt prescrise deseori în cadrul specificațiilor referitoare la materiale. Aceste caracteristici sînt determinate prin încercarea la tracțiune. Cu toate acestea, se pare că în stadiul actual nu există nici



o altă cerință referitoare la caracteristicile mecanice mai puțin susținută decât cea referitoare la proprietățile de plasticitate statică. Pentru a preciza ideile, vom reaminti că în ceea ce privește structurile metalice se consideră de mult că o alungire mare la rupere ar constitui o siguranță în plus. De aceea, numeroase specificații prescriu valori minime admisibile pentru alungirea la rupere. În fapt, distrugerea unei structuri - în general - sau a unui rezervor de presiune - în special - prin depășirea limitelor de curgere și deformare plastică, mergând până la rupere, nu este practic posibilă decât în timpul unor încercări de laborator, efectuate în scopul cercetării acestor fenomene. În practică, capacitatea de alungire nu este utilizată decât pentru a permite mici deformații locale care să atenueze vîrfurile de tensiune ce apar în anumite regiuni și care pot fi ușor puse în evidență prin folosirea unui număr suficient de traductori tensometrici. Calitatea esențială a oțelului este nepermiterea amorsării și propagării unei rupturi fragile, care dacă s-ar produce ar pleca dintr-un punct unde s-a depășit limita de curgere. Dacă metalul este ductil va avea loc - din contră - o plastificare locală, ceea ce nu necesită decât o deformare redusă pentru că o tensiune egală cu o limită de curgere de  $686 \text{ N/mm}^2$  este compensată printr-o alungire plastică mai mică de 1%. De aici rezultă că nu se pot stabili norme generale pentru valorile minime ale alungirii la rupere și că plasticitatea necesară în cazul unei anumite utilizări specifice este aceea care asigură buna funcționare a piesei respective.

Curba caracteristică tensiune-deformație la tracțiune are un caracter mai limitat decât cel care i se dă în prezent, constituind de fapt o indicație de ordin general asupra comportării materialului respectiv, ceea ce nu justifică importanța și caracterul universal care i se acordă de cele mai multe ori. Figura 1.1. redă cîteva curbe caracteristice experimentale ce permit definirea cîtorva din punctele caracteristice ale acestor curbe. Ca urmare a aplicării diverselor variante de tratamente termice sau a deformării plastice la rece, multe materiale tehnice își modifică curbele caracteristice corespunzătoare solicitării la tracțiune.

Sintetizînd concluziile ce se desprind din faptele relatate, trebuie subliniat că pentru interpretarea rezultatelor încercărilor la tracțiune este necesară o analiză judicioasă, care să permită stabilirea valorilor ce pot intra în considerare la proiectare. Această analiză trebuie să aibă și un caracter critic, legat în special de efectele pe care le poate avea apariția unui defect prematur în material.

În cazul produselor, care au suferit deformări plastice, cu precădere într-o anumită direcție, trebuie să se țină seama de proprie-



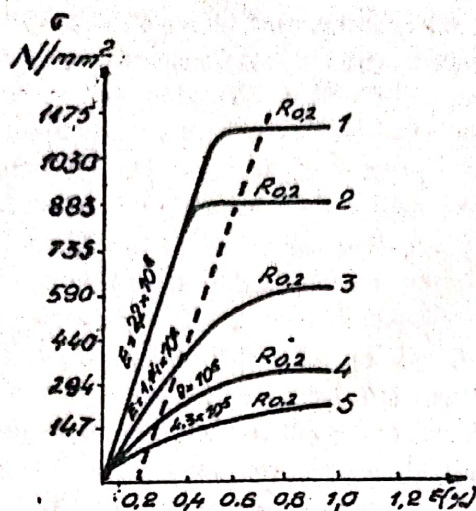


Fig. 1.1. Exemple de curbe caracteristice la tracțiune. 1 - oțel de tip Cr - Ni - Mo, îmbunătățit la  $R=1150\text{N/mm}^2$ ; 2 - oțel de tip Cr-Ni-Mo, îmbunătățit la  $R=900\text{N/mm}^2$ ; 3 - aliaj pe bază de titan; 4 - aliaj pe bază de aluminiu; 5 - aliaje pe bază de magneziu.

tățile preferențiale pe anumite direcții, ca urmare a anizotropiei apărute în urma deformării plastice.

Informațiile referitoare la acest gen de anizotropie pot, în unele cazuri, să se dovedească avantajoase în proiectare, dar proiectantul trebuie să aibă în vedere și efectele dăunătoare legate de existența anizotropiei.

### 1.3.2. Caracteristicile mecanice de compresiune

În numeroase cazuri practice, caracteristicile mecanice de compresiune prezintă un deosebit interes pentru proiectanți.

Din curbele caracteristice corespunzătoare compresiunii este posibil să se construiască diagrame adimensionale, utile pentru aprecierea modului de comportare a barelor comprimate sau a tablelor pe direcția axei lor.

Caracteristicile mecanice la compresiune comportă aceeași interpretare ca acelea din cazul tracțiunii, folosirea lor în proiectare necesitând o înțelegere a dispersiei rezultatelor experimentale obținute. De asemenea, este necesară determinarea efectelor factorilor metalurgici, care influențează și ei comportarea diverselor materiale.

Alegerea materialelor pentru cazuri speciale, când diverse părți componente ale unei construcții ingineresti sînt supuse la tensiuni de compresiune, impune compararea caracteristicilor mecanice la com-



presiune ale diverselor materiale ce intră în joc, iar în unele cazuri analizarea soluțiilor constructive în corelație cu diversele defecțiuni ce ar putea surveni.

În figura 1.2. se prezintă o metodă grafică de comparare, în cazul flambajului, a patru oțeluri în funcție de raportul între modulele de elasticitate transversal și respectiv longitudinal. Această dia-

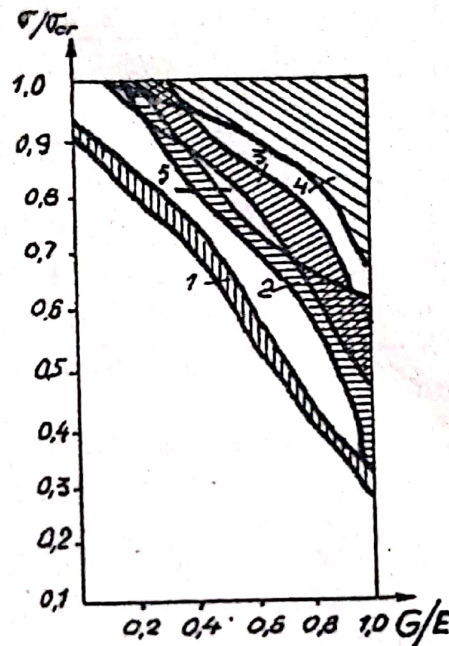


Fig.1.2. Diagramă adimensională referitoare la comportarea a patru oțeluri în condiții de flambaj.  
1 - oțel austenitic inoxidabil de tip 18-8; 2 - oțeluri carbon de tip 37 și 42; 3 - oțeluri aliate de tip Cr-Ni-Mo îmbunătățite și 4 - oțeluri de tip Cr-Ni-Mo normalizate

gramă evidențiază - destul de clar - ideea că alegerea cea mai potrivită, dintre numeroase materiale, trebuie să țină seama de condițiile specifice fiecărei utilizări.

### 1.3.3. Corelarea între duritate și rezistența de rupere la tracțiune

Admiterea unei relații lineare între duritate și rezistența la rupere constituie una din erorile cele mai banale întâlnite în practica interpretării proprietăților mecanice. O analiză succintă a acestei corelări demonstrează clar limitele acestui abuz. După cum se știe, du-



ritatea maximă obținută la oțelurile tratate termic (îmbunătățite) depinde de conținutul în carbon. Pe de altă parte, proprietățile mecanice depind de călibilitatea oțelurilor și este posibil ca la aceleași durități superficiale, proprietățile mecanice să fie cu totul diferite. Dealtfel, diferitele oțeluri au gradiente diferite în ceea ce privește durificarea și rezistența, ceea ce limitează folosirea unor relații corelative (fig. 1.3.).

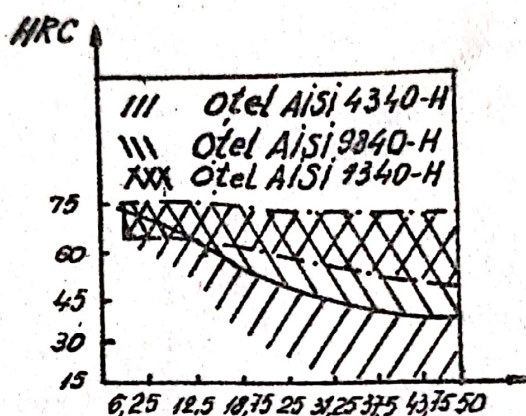


Fig.1.3. Benzi de călibilitate corespunzătoare la trei oțeluri diferite, cu același conținut de carbon, dar cu grade diferite de aliere (oțelul AISI 4340 H este un oțel carbon cu 0,38% C, oțelul AISI 9840 H este un oțel carbon cu același conținut de carbon, dar cu conținutul de mangan mai ridicat, iar oțelul 1340 H este un oțel slab aliat cu Mn și același conținut de carbon)

Din punct de vedere economic, în majoritatea cazurilor, este avantajos să se ia în considerare utilizarea oțelurilor cu proprietăți de rezistență ridicată (independent de secțiunea maximă transversală), limitând valorile durității.

Considerații bazate pe aceeași concepție sînt valabile și în cazul aliajelor metalice susceptibile de durificare prin precipitare.

O alegere greșită a materialului de către proiectant sau o greșeală survenită în timpul procesului tehnologic, în special la operațiile de tratament termic, ies imediat în evidență pe baza considerațiilor expuse. Într-adevăr, dacă secțiunea transversală a piesei este mare sau dacă din cauza formei sale geometrice rezultă o viteză de răcire diferită la călire și dacă în timpul tratamentului termic se produce cea mai mică neatenție, se obține o structură neomogenă cu repercusiuni ușor sesizabile asupra proprietăților de rezistență și a duratei piesei respective, datorate neasigurării unui echilibru corespunzător în-



tre ele.

Pe de altă parte, rezistența finală a unei plese confecționate dintr-un oțel tratat termic este determinată de condițiile în care se efectuează acest tratament. Valoarea convențională a acestei rezistențe nu poate fi determinată, după cum se știe, decât prin distrugerea piesei. În acest condiții, relațiile de corelare informativă a valorilor durității cu cele ale rezistenței la rupere sînt de un real folos, determinarea durității pe plese - fără a le distruge - putînd da o idee utilă asupra valorilor rezistenței obținute în urma tratamentului termic. Cu alte cuvinte, în acest fel se permite un control informativ asupra corectitudinii procesului de tratare termică.

#### 1.3.4. Caracteristicile de fluaj

În prezent, nu se dispune de o metodă generală de valorificare a proprietăților de fluaj în proiectare. Într-adevăr pentru condițiile în care apare fenomenul de curgere lentă nu au fost încă stabilite criteriile de proiectare într-o formă care să poată permite o aplicare ușoară și sigură a lor în proiectare. Totuși, în cazul instalațiilor termoelectrice cu aburi, de mai mulți ani sînt valorificate în proiectare caracteristicile mecanice convenționale de fluaj (limita de fluaj și rezistența la fluaj). În cazul fluajului, un rol deosebit îl joacă stabilitatea structurală, în condițiile de lucru, a materialului utilizat. După cum se știe, în cursul fluajului se produc două fenomene contrarii și anume o restaurare progresivă, care micșorează proprietățile de rezistență și o ecrusare continuă, care mărește proprietățile de rezistență. În proiectarea elementelor ce lucrează la temperaturi ridicate, caracteristica mecanică de bază o constituie limita tehnică de fluaj. Rezistența tehnică de durată (rezistența de fluaj), care completează limita tehnică de fluaj, intervine în calcule numai atunci cînd stabilitatea dimensională prezintă un interes minor și durata de serviciu dorită coincide cu durata încercării și exploatării piesei. Acesta este, de exemplu, cazul rachetelor sau al unora dintre turbinele cu gaze. După cum se știe, în cadrul unei încercări clasice de fluaj materialul este supus unei forțe constante de întindere, în condiții de temperatură ridicată. În tot timpul încercării se efectuează cu precizie măsurători ale deformației, datele experimentale obținute înscriindu-se într-o diagramă. Rezultă o familie de curbe  $\epsilon = f(t)$  pentru diferite niveluri ale tensiunii la aceeași temperatură și, respectiv, pentru diferite niveluri ale temperaturii la aceeași tensiune (fig. 1.4. și 1.5.).

Deformația totală, rezultată în urma unei asemenea încercări, include deformarea inițială produsă în momentul încercării (care



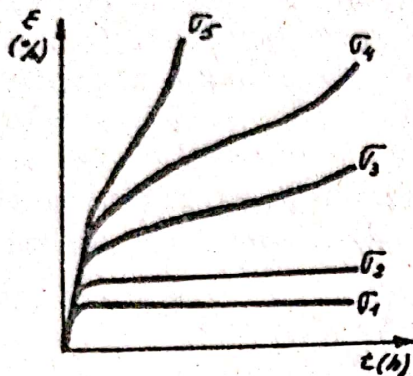


Fig. 1.4. Exemple de curbe de fluaj la diferite niveluri de tensiune ( $\sigma_5 > \sigma_4 > \sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1$ ) și aceeași temperatură  $T$ , constantă

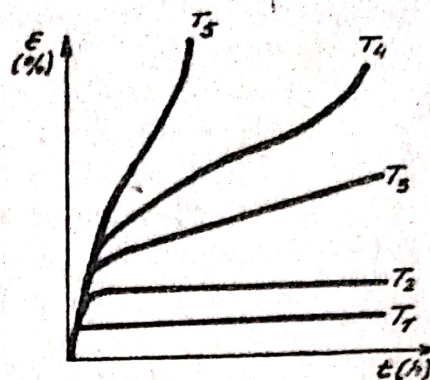


Fig. 1.5. Exemple de curbe de fluaj la diferite temperaturi ( $T_5 > T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ ) și același nivel de tensiune,  $\sigma$

este în parte elastică, în parte plastică) și deformarea plastică produsă în timp. Dilatarea termică, care poate fi și ea măsurată separat, poate fi luată în considerare sau neglijată. Evident, cu cât valorile temperaturii și ale tensiunii cresc, cu atât fenomenul de fluaj se accentuează.

Sînt cazuri în care proiectarea pieselor, deși acestea lucrează la temperaturi ridicate, se face pe baza proprietăților mecanice de scurtă durată, corespunzătoare temperaturii de lucru. În aceste cazuri, unul din factorii principali pe care îi are în vedere proiectantul este stabilitatea proprietăților mecanice de scurtă durată la temperaturile specifice de lucru sau peste gama de temperaturi presupuse a se produce în timpul serviciului. Evaluarea unor efecte de această natură a fost realizată pe seama unor numeroase încercări mecanice de tracțiune de scurtă durată, efectuate la temperaturi ridicate. În tabelul 1.1 sînt redate, spre exemplificare, caracteristicile mecanice de scurtă durată la temperatura normală ale oțelurilor 16Mo3, 14CrMo4 și 10CrMo10 (STAS 2881-80). O evaluare generalizată, în funcție de temperatură, este redată în fig. 1.6.



TABELUL 1.1

| Marca<br>oțelului | Caracteristicile mecanice |                                               |         |                                          |                       |                                               |         |                                          |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|---------|------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|---------|------------------------------------------|
|                   | Epruvete longitudinale    |                                               |         |                                          | Epruvete transversale |                                               |         |                                          |
|                   | R                         | R <sub>o,2</sub><br>min.<br>N/mm <sup>2</sup> | A5<br>% | KCU <sub>2</sub><br>da J/cm <sup>2</sup> | R                     | R <sub>o,2</sub><br>min.<br>N/mm <sup>2</sup> | A5<br>% | KCU <sub>2</sub><br>da J/cm <sup>2</sup> |
| 16Mo3             | 441-<br>549               | 284                                           | 20      | 6                                        | 470 -<br>529          | 274                                           | 18      | 6                                        |
| 14CrMo4           | 441-<br>568               | 294                                           | 20      | -                                        | 431 -<br>549          | 304                                           | 18      | 6                                        |
| 10CrMo10          | 441-<br>588               | 265                                           | 20      | -                                        | 441 -<br>588          | 265                                           | 18      | 6                                        |

### 1.3.5. Caracteristicile de oboseală

Calculul de dimensionare a pieselor sollicitate la oboseală în condiții normale de temperatură sau la temperaturi înalte, pe baza datelor convenționale rezultate din încercările de laborator, trebuie abordat cu multă precauție. Spre deosebire de celelalte proprietăți de rezistență mecanică, oboseala este extrem de sensibilă la influențele locale care pot fi de natură geometrică sau metalurgică.

Datele experimentale de oboseală, care au fost obținute pînă în prezent, trebuie considerate de proiectant doar ca informative, avînd un caracter de îndrumare. Experiența proiectantului în valorificarea unor astfel de date constituie prima condiție a succesului. Această experiență presupune, printre altele, analizarea stării finale a materialului și a piesei proiectate, în special în legătură cu riscurile legate de existența unui defect, care ar putea grăbi oboseala piesei respective.

Caracteristicile mecanice de oboseală se evaluează într-o diagramă care redă grafic variația tensiunii în funcție de numărul de cicluri de variație a tensiunii (fig.1.7). Valoarea unor astfel de date constă în aprecierea materialelor și a tehnologiei, comparativ cu alte materiale a căror comportare în exploatare se cunoaște. La diversele cazuri concrete - ridicate de practică - nu întotdeauna, însă, este posibilă extinderea asemănărilor sau diferențelor existente între două materiale în privința proprietăților la oboseală; aceasta impune ca problema să fie tratată cu atenție mărită.

Considerațiile valabile în cazul oboselii la temperatura normală rămîn valabile și în cazul oboselii la temperaturi ridicate. Totuși, în acest caz, apar unele aspecte complexe, specifice, legate de modificări-



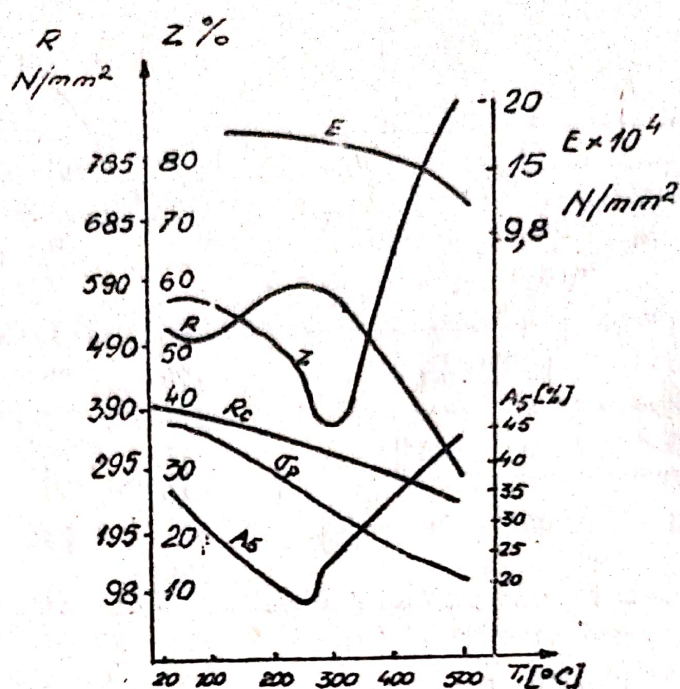


Fig.1.6. Variația caracteristicilor mecanice la tracțiune de scurtă durată, în cazul unui oțel cu conținut mediu de carbon, în funcție de temperatură

le structurale care se produc în timpul expunerii materialelor sub tensiune la temperaturi ridicate. Dealtfel, în anumite condiții de încercare și temperatură poate interveni în joc și fenomenul de fluaj. Proiec-

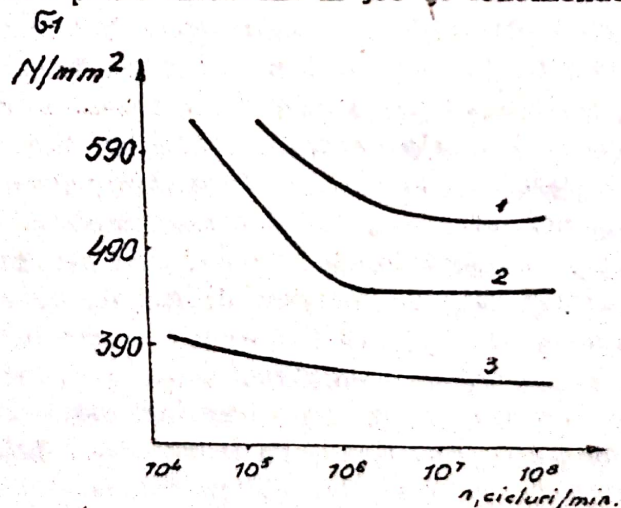


Fig.1.7. Curba de durabilitate la solicitări variabile, în cazul unui oțel aliat de tip Ni-Cr;

- 1 - călit în ulei, revenit la 200  $^{\circ}\text{C}$
- 2 - călit în ulei, revenit la 650  $^{\circ}\text{C}$
- 3 - recopt



tantul trebuie, deci, să decidă, în aceste cazuri, în ce situație își bazează proiectarea pe caracteristicile de oboseală la temperaturi ridicate și când pe caracteristicile de fluaj, comportarea oțelului depinzând atât de rezistența la oboseală, cât și de rezistența la fluaj.

În cazul tensiunilor alternative, dacă se mărește temperatura, rezistența la oboseală descrește continuu cu ridicarea temperaturii, atât timp cât nu s-a atins temperatura de curgere la fluaj. Începând din acest moment se poate determina în continuare limita de durabilitate, dar ea este întovărașită de o deformare plastică. În practică, începând din punctul de inversiune în care se intersectează curbele rezistențelor la fluaj și, respectiv, la oboseală, aceasta din urmă descrește destul de rapid. Acest lucru este arătat în figura 1.8. (după Görtler și Schmidt), care ilustrează grafic variația, în funcție de tem-

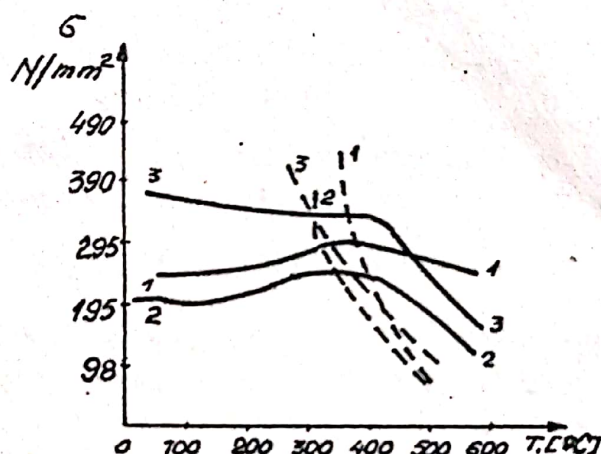


Fig.1.8. Variația rezistenței la oboseală (tracțiune-compresiune) și a rezistenței la fluaj pentru trei oțeluri diferite—fluaj; — — — — — oboseală  
1 și 2 - oțel carbon cu circa 0,15%C; 3-oțel aliat cu Cr (13% Cr, călit la 925°C în aer și revenit la 610°C)

peratură, a limitelor de oboseală la tracțiune - compresiune și, respectiv, a rezistențelor la fluaj pentru două oțeluri carbon și unul aliat cu 13% Cr.

Dacă are loc suprapunerea unei tensiuni statice, un mod de reprezentare comod este cel utilizat de același autori și schematizat în fig.1.9. Pentru o temperatură dată, se reprezintă în abscisă tensiunea medie ( $\sigma_m$ ), iar în ordonată amplitudinea tensiunilor ( $\sigma_v$ ). Domeniul de durabilitate la oboseală este limitat în diagrama lui Goodman modificată prin conturul ABD, în timp ce rezistența la fluaj este re-



prezentată prin curba (ECE'). Se determină, astfel, tensiunea maximă  $\sigma_M$  pentru temperatura considerată. Sub  $\sigma_M$  ruperea se face prin oboseală fără fluaj și domeniul de durabilitate este limitat prin arcu AB, care indică valoarea tensiunii maxime posibile fără rupere. Pes-

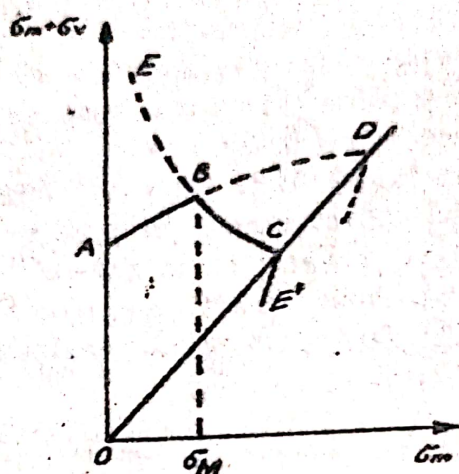


Fig. 1.9. Diagrama lui Goodman modificată; domeniul de durabilitate la oboseală și rezistența la fluaj

te  $\sigma_M$  se face simțit fluajul și curba BC indică limita tensiunii maxime care nu poate fi depășită fără ca să se producă o anumită deformare plastică.

După cum temperatura de încercare este inferioară, egală sau superioară temperaturii de inversiune se obțin trei tipuri de diagrame. Acestea permit să se determine tensiunea statică maximă  $\sigma_M$  sub care, dacă se face să crească tensiunea ciclică, ruperea se produce prin oboseală și deasupra căreia se produce o alungire de fluaj superioară limitei care a fost fixată fără rupere prin oboseală pentru numărul de cicluri ales.

Figura 1.10 reproduce rezultatele obținute de W.J. Trapp și R.T. Schwartz pe un oțel Ni-Cr-Mo, încercat la tracțiune - compresivă între 20 și 450°C.  $\sigma_n$  este tensiunea medie sau statică, iar  $\sigma_v$  amplitudinea tensiunii alternante. Valorile lui  $\sigma_m$  pentru care amplitudinea  $\sigma_v$  admisibilă este nulă corespund rezistenței la rupere prin fluaj la 120 h la temperaturile de încercare 315°C, 425°C și 540°C și sarcinii statice de rupere pentru 20°C. Curbele dau variația rezistenței la oboseală pentru 15 milioane cicluri. După temperatura de încercare rezultă curbe foarte diferite; astfel la 425°C și 540°C se observă căderi bruște ale amplitudinii tensiunii alternante admisibile deasupra unei anumite tensiuni medii.



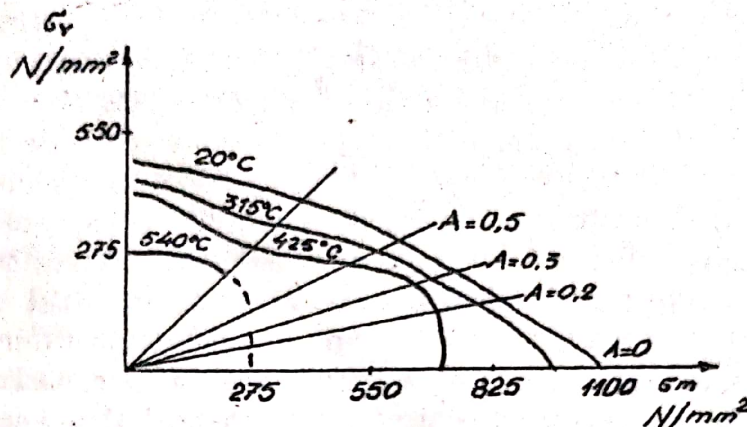


Fig.1.10. Diagrama lui Goodman modificată; curbe de durabilitate (tracțiune - compresu - ne) la 2000 cilcuri/min pentru  $1,5 \cdot 10^7$  cicluri pe un oțel de tip 1,4 Ni - 0,22 Mo-1Cr

#### 1.3.6. Influența creștăturilor asupra proprietăților mecanice

ce

Influența creștăturilor asupra proprietăților mecanice are pentru proiectant o importanță deosebită, întrucât este imposibil să se realizeze un proiect fără a introduce discontinuități geometrice. Numeroase materiale metalice prezintă încreștări, adică concentrări de tensiune datorită unor factori metalurgici ca pori, incluziuni nemetalice, sufluri etc., care influențează sensibilitatea la încreștare a materialului respectiv.

În sfârșit, sensibilitatea la încreștare nu constituie o proprietate care se face simțită numai la o anumită solicitare. Toate tipurile de solicitare (solicitări statice, dinamice, variabile) pot produce o sensibilitate la încreștare a materialelor, care poate fi dăunătoare mai ales în cazul când s-au făcut greșeli de proiectare și de execuție în ceea ce privește forma plesii și tratamentul termic.

În ultimii ani, numeroase cercetări au fost consacrate studierii efectului de încreștare, obținându-se date experimentale interesante și utile pentru stabilirea unei concepții de bază asupra acestei probleme, inclusiv a influențelor diversilor factori care intervin. Având în vedere că defectarea sau distrugerea diverselor plesii sollicitate static, dinamic sau variabil pleacă întotdeauna din zone cu concentratori de tensiune, pare logic a se presupune că singura încercare experimentală care poate fi considerată drept concludentă din punct de vedere al



încrестării este încercarea piesei ca atare, avînd configurația imaginată de către proiectant.

La alegerea materialului pentru o utilizare specifică dată trebuie analizate multiplele aspecte ale comportării mecanice de ansamblu a diverselor materiale ce intră în joc în cazul considerat, pentru a face o alegere corectă, rațională. Această analiză trebuie făcută ținînd seama și de condițiile în care este solicitată piesa respectivă. Astfel, de exemplu, figura 1.11 redă grafic relația dintre rezistența la întindere pe epruvete netede și respectiv crestate în cazul a patru oțeluri cu același conținut de carbon, dar cu rezistențe diferite. Din figură se observă că sensibilitatea la încrестare în cele patru variante este sensibil diferită, ceea ce demonstrează necesitatea unei cunoașteri

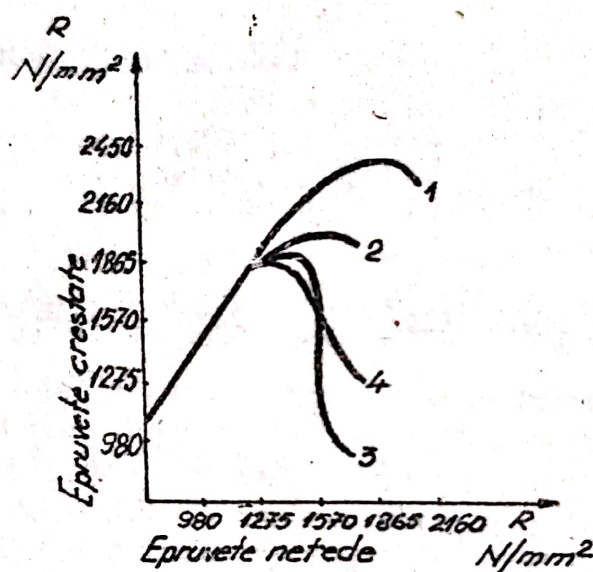


Fig. 1.11 Corelația grafică dintre rezistența la tracțiune pe probe crestate și netede, în cazul a patru oțeluri diferite cu același conținut mediu de carbon (0,4% C)  
1 - oțel aliat de tip Cr-Ni-Mo; 2 - oțel aliat cu Ni; 3 - oțel aliat cu Cr și 4 - oțel aliat cu Mn

depline a comportării diverselor materiale. Tot astfel, curbele de tenacitate, determinate pe epruvete Charpy V și redade pentru câteva oțeluri tratate termic în figura 1.12 demonstrează același lucru.

În concluzie, pentru proiectant este importantă cunoașterea ansamblului de proprietăți fizico-mecanice. Pentru el este, de asemenea, important să se sublinieze că proprietățile mecanice convenționale nu sînt capabile singure să asigure o cunoaștere satisfăcătoare a ma-



terialului ales, influența numeroșilor factori externi care determină modul de comportare al acestuia. Cunoașterea dispersiei proprietăților materialului și o înțelegere profundă a comportării acestuia în variatele condiții de solicitare și funcționare sînt indispensabile și de un real folos.

Pentru inginerul proiectant nu este suficient să prescrie valorile minime garantate ale proprietăților mecanice ale materialului ales. El trebuie să se asigure de la început că materialul ales are pro-

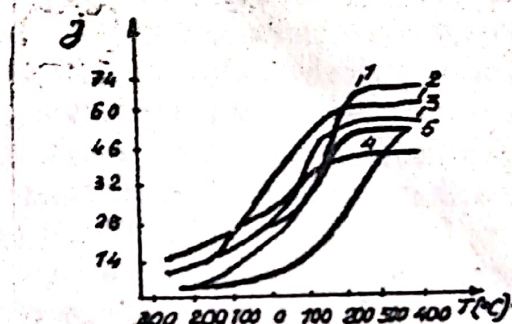


Fig.1.12 Curbele de tranziție în cazul a șase oțeluri aliate, călite la HRC  $\approx$  40 și revenite la HRC = 32 ..... 35. 1 - oțel aliat cu Cr; 2 - oțel aliat de tip Ni-Mo; 3 - oțel aliat de tip Cr-Ni-Mo; 4 - oțel aliat de tip Cr-Mn-Ni; 5 - oțel aliat cu Ni și 6 - oțel aliat cu Mn

prietăți potențiale ce pot fi puse în întregime în valoare printr-o proiectare constructivă și tehnologică corespunzătoare. Cu alte cuvinte, la alegerea materialului, proiectantul se va baza pe valorile proprietăților mecanice ale fiecărei mărci de oțel pentru construcții mecanice, dar va trebui - în mod necesar - să ia în considerare efectele dimensionale, anizotropia materialelor și influența diferitelor operații tehnologice de prelucrare asupra comportării materialului în timpul serviciului.



## CAPITOLUL 2

### PRINCIPALELE FAMILII DE OTELURI PENTRU CONSTRUCTII MECANICE

În cadrul acestui îndrumar se vor prezenta toate oțelurile pentru construcții mecanice tipizate-standardizate în R.S.România. Aceste oțeluri sînt utilizate, în principal, pentru fabricarea de organe de mașini și alte elemente componente ale motoarelor, transmisilor (angrenaje, axe, arbori), plese de fixare sau suspensie (șuruburi, arcuri), elemente ale structurilor portante (longeroane pentru șasiuri, schelete de susținere) etc. Domeniul lor de utilizare este extrem de extins, oțelurile pentru construcții mecanice reprezentînd 65-75% din consumul total de oțel al țării. Pe structură, circa 60% din ele reprezintă oțeluri aliate, 35% oțeluri nealiate.

#### 2.1. Cerințe și caracterizare

Oțelurile pentru construcții mecanice diferă, în mod sensibil, de oțelurile de scule atît prin condițiile de întrebuințare, cît și prin caracteristicile care le definesc.

În primul rînd, nivelul cerințelor impuse oțelurilor pentru construcții mecanice este total diferit de cel al oțelurilor de scule. În timp ce în cazul oțelurilor de scule se urmărește ca durata de exploatare să fie cît mai mare, fără stabilirea unei limite superioare, în cazul oțelurilor pentru construcții mecanice o asemenea dorință ar fi lipsită de sens. Într-adevăr, un oțel pentru construcții mecanice trebuie să prezinte aptitudini corespunzătoare unei utilizări date și, de regulă, este inutil ca el să aibă caracteristici superioare celor necesare. Astfel, este suficient ca o bielă, un arbore cotit, un șurub, un pinion să asigure o durată de întrebuințare cel puțin la fel de lungă ca durata de serviciu a mașinii sau utilajului din care face parte. Practic este lipsit de interes ca toate aceste plese să poată dura de două sau de zece ori mai mult decît viața ansamblului în care sînt încorporate. Cu alte cuvinte, majoritatea elementelor componente ale construcțiilor mecanice sînt concepute pentru o durată de serviciu limitată.



În al doilea rînd, dacă în cazul unei scule solicitările maxime din exploatare nu se exercită decît în vîrf, muchia sau pe suprafața de contact dintre ea și material, în schimb, un reper de mașină este solicitat pe întreaga sa suprafață sau pe o parte importantă a sa la același nivel. Rezultă, de aici, că în timp ce o sculă este scoasă din uz cînd prezintă deteriorări locale, ce nu mai pot fi remediate, o piesă componentă a unei mașini trebuie să prezinte distrugerii mari, generalizate, pentru a determina scoaterea ei din folosință.

O altă diferență fundamentală între oțelurile pentru construcții mecanice și cele de scule decurge din maniera de caracterizare a lor. Astfel, spre deosebire de oțelurile de scule care nu pot fi definite cu ajutorul unor caracteristici mecanice sau fizice, măsurabile, prin care să se poată evalua aptitudinile lor de întrebuințare, oțelurile pentru construcții mecanice pot fi definite într-un mod suficient de precis, prin compoziția chimică și caracteristicile lor mecanice, din care cea mai mare parte pot fi determinate prin încercări cantitative reproductibile.

Cu toate acestea, este unanim admis astăzi că și în cazul oțelurilor pentru construcții mecanice, întocmai ca în cazul celor de scule, comportarea în serviciu depinde, în cea mai mare măsură, de precizia analizei chimice, puritatea chimică și incluzionară, omogenitatea structurii, absența defectelor interne și a celor superficiale și de constanța comportării la tratamentele termice, ansamblul caracteristicilor mecanice și fizice-garantate prin documentele normative de standardizare-servind mai mult la o ierarhizare a lor din punct de vedere al posibilităților potențiale și mai puțin la aprecierea comportării în serviciu.

## 2.2. Clasificarea oțelurilor pentru construcții mecanice

Aceste oțeluri, ca toate celelalte, sînt tipizate în R.S.România prin Decretul Consiliului de Stat nr.99 din anul 1980, în timp ce proprietățile de întrebuințare și celelalte proprietăți și condiții necesare utilizării lor sînt stabilite prin standardele de stat. În cadrul tipizării, clasificarea mărcilor de oțel pentru construcții mecanice este bazată pe criteriul destinației (domeniului de utilizare). Plecînd de la această clasificare, oțelurile utilizate curent în industria construcțiilor de mașini vor fi prezentate în cadrul acestei lucrări în următoarele grupe:

- oțeluri pentru recipienti, cazane și structuri mecano-sudate;
- oțeluri pentru organe și alte elemente componente de mașini;



- oțeluri pentru ambutisare sau îndoire la rece;
- oțeluri pentru arcuri;
- oțeluri pentru rulmenți.

Aplicarea unor tehnici deosebite, de curînd apărute în practica industrială, permite să se reducă considerabil segregările din metal și, deci, să-i crească omogenitatea chimică, să se micșoreze mărimea cristalelor și să se mărească puritatea incluzionară. În acest fel se îmbunătățește sensibil comportarea oțelurilor respective în serviciu.

Ne referim din acest punct de vedere la aplicarea vidului în timpul elaborării sau turnării oțelului, la retopirea cu electrozi consumabili sub vid (procedeul RAV) sau sub pat de zgură electroconductoare (procedeul REZ). Aceste tehnici, care comportă mai multe variante, sînt deseori utilizate pentru producerea oțelurilor destinate confecționării de piese puternic solicitate sau cărora li se cere o fiabilitate ridicată, cum sînt cele din industria automobilelor, aeronavelor, energeticii nucleare, unele subramuri ale industriei chimice etc.

În cadrul acestui capitol se prezintă diferitele mărci (tipizate în țara noastră) de oțeluri pentru construcții mecanice, clasificate cum s-a arătat mai sus. De menționat că unele mărci de oțeluri nu pot fi riguros repartizate unei anumite grupe de utilizare, ele găsindu-și întrebuințare în mai multe domenii. În cazul acestor mărci, repartizarea lor s-a făcut în cadrul grupei care reprezintă domeniul principal de utilizare.

În încheierea capitolului, se va prezenta nomenclatorul tuturor mărcilor de oțel pentru construcții mecanice, standardizate în R.S. România, și se vor indica, pentru fiecare marcă de oțel cuprinsă în nomenclator, mărcile corespondente ce se produc în țările industriale cu care avem legături comerciale sau schimburi de produse siderurgice. Aceste corespondente vor putea fi folosite de proiectanți pentru completarea informațiilor necesare, referitoare la proprietățile de întrebuințare și tehnologice, precum și la domeniile de utilizare a oțelurilor pentru construcții mecanice.

Prezentarea mărcilor de oțel pentru construcții mecanice se face, în cadrul acestui capitol, prin prisma compozițiilor chimice prescrise în standarde pentru oțelul lichid. Caracteristicile mecanice pe produs, așa cum se prevăd în standardele de stat din țara noastră sau în documentele normative de standardizare din alte țări pentru mărcile de oțel corespondente, vor fi prezentate în capitolul 5 al acestui îndrumar.

În ceea ce privește celelalte informații referitoare la regulile de verificare a calității, metode de încercare, stări de suprafață,



condiții de recepție, marcarea, ambalare și livrare etc. vor trebui consultate standardele de produs respective.

### 2.3. Oțelurile pentru recipiente, cazane și structuri mecano-sudate

Recipientele, mantalele cazanelor, structurile mecano-sudate sînt singurele construcții mecanice care au întotdeauna ca semifabricat inițial un produs laminat.

De regulă, aceste construcții se confecționează din table, dar și din benzi, mai ales în cazul pieselor auxiliare care intră în componența ansamblului unui recipient.

În ceea ce privește tablele, ele se produc în două feluri:

- laminate foale cu foale (de regulă, pe o cașă quarto), în care caz caracteristicile mecanice variază după sensul de prelevare, longitudinal sau transversal;

- laminate continuu, în care caz caracteristicile variază sensibil în funcție de sensul de prelevare, dar prezintă o mare regularitate în ceea ce privește grosimea.

În marea majoritate a cazurilor, diferitele mărci de oțel utilizate pentru fabricarea tablelor destinate construcțiilor de recipiente și de structuri mecano-sudate sînt grupate în standarde pe domenii de utilizare, ceea ce înlesnește - în mare măsură - alegerea lor de către proiectanți.

#### 2.3.1. Oțeluri clasice carbon și slab aliate pentru construcții mecano-sudate

Aceste mărci de oțel sînt grupate în standardul de stat 500/2. Ele permit să se realizeze construcții ce oferă o mare securitate, neexistînd riscurile unei interpretări greșite, deoarece caracteristicile garantate prin standard se referă la produsul livrat și nu la o epușetă de referință pentru caracterizare. Oțelurile utilizate în construcțiile mecano-sudate, cuprinse în acest standard, sînt în număr de 3 (tabelul 2.1): OL 37, OL 44 și OL 52 și se prezintă primul în 4 calități (1, 2, 3 și 4), iar următoarele două în 3 calități (2, 3 și 4).



TABELUL 2.1

| Nr. crt. | Marca de oțel | Calitatea | Modul de dezoxidare | Compoziția chimică, % |      |                             |       |       |       |
|----------|---------------|-----------|---------------------|-----------------------|------|-----------------------------|-------|-------|-------|
|          |               |           |                     | C                     | Mn   | Si                          | P     | S     | Al    |
|          |               |           |                     | max.                  | max. | max.                        | max.  | max.  | min.  |
| 1        | OL 37         | 1         | $\frac{n}{s}$<br>k  | 0,20                  |      | $\frac{0,07}{0,17}$<br>0,40 | 0,060 | 0,060 | -     |
|          |               | 2         | $\frac{n}{s}$<br>k  | 0,18                  | 0,80 | $\frac{0,07}{0,17}$<br>0,40 | 0,050 | 0,050 | -     |
|          |               | 3         | $\frac{k}{kf}$      |                       |      |                             | 0,045 | 0,045 | -     |
|          |               | 4         | kf                  | 0,17                  |      | 0,40                        | 0,040 | 0,040 | 0,020 |
| 2        | OL 44         | 2         | k                   |                       |      |                             | 0,050 | 0,050 |       |
|          |               | 3         | $\frac{k}{kf}$      | 0,20                  | 1,10 | 0,50                        | 0,045 | 0,045 | -     |
|          |               | 4         | kf                  | -                     |      |                             | 0,040 | 0,040 | 0,020 |
|          |               | 2         | k                   |                       |      |                             | 0,050 | 0,050 |       |
| 3        | OL 52         | 3         | $\frac{k}{kf}$      | 0,20                  | 1,60 | 0,50                        | 0,045 | 0,045 | 0,020 |
|          |               | 4         | kf                  | 0,18                  |      |                             | 0,040 | 0,040 | 0,020 |

### 2.3.2. Oțeluri pentru construcții mecano-sudate, rezistente la coroziune atmosferică

Oțelurile care intră în această categorie au fost dezvoltate pentru a rezista, în condiții mai bune decât oțelurile din categoria pre-



cedentă, la acțiunea corosivă a atmosferei în care sînt amplasate construcțiile mecano-sudate. Compoziția lor chimică este astfel stabilită încît, sub acțiunea atmosferei, se formează la suprafața lor o peliculă de oxizi extrem de aderenți care protejează materialul și-l ferește, în continuare, de acțiunea corosivă a mediului înconjurător. În această categorie intră 2 mărci de oțel, RCA 37 și RCB 52 (tabelul 2.2), cuprinse în STAS 500/3.

TABELUL 2.2

| Nr. Marca<br>crt. de oțel |        | Compoziția chimică, % |      |              |              |       |              |              |              |       |
|---------------------------|--------|-----------------------|------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|-------|
|                           |        | C                     | M    | Si           | P            | S     | Cr           | Cu           | V            | N2    |
|                           |        | max.                  | max. |              |              | max.  |              |              |              | max.  |
| 1                         | RCA 37 | 0,10                  | 0,40 | 0,15<br>0,30 | min.<br>0,06 | 0,035 | 0,50<br>0,80 | 0,30<br>0,60 | -            | 0,015 |
| 2                         | RCB 52 | 0,18                  | 1,15 | max.<br>0,60 | max.<br>0,04 | 0,040 | 0,50<br>0,80 | 0,30<br>0,60 | max.<br>0,12 | 0,015 |

### 2.3.3. Oțeluri sudabile cu limită de curgere ridicată și foarte ridicată (granulație fină)

Oțelurile din această grupă, dezvoltate în ultimii 25 ani, reprezintă o continuare naturală a celor două categorii precedente, în condițiile creșterii continue a complexității construcțiilor mecano-sudate și a nivelului lor de solicitare. Oțelurile din această grupă sînt cuprinse în STAS 9021 și sînt în număr de 5: OCS 44, OCS 52, OCS 55, OCS 58 și OCS 90 (tabelul 2.3).

În cazul folosirii mărcilor de oțel cu limită de curgere foarte ridicată (OCS 55, OCS 58 și OCS 90), deoarece compoziția lor chimică nu este foarte riguros precizată prin standard, ceea ce are implicații asupra sudabilității, proiectanții trebuie să manifeste mult mai multă precauție și să stabilească de fiecare dată cerințe de întrebuintare și tehnologice adecvate utilizării pe care o au în vedere. Este recomandabil, deci, ca în toate cazurile în care nu există motive deosebite (greutate maximă impusă, volum impus etc.), care să-l dirijeze pe proiectant spre utilizarea oțelurilor cu limită de curgere foarte ridicată, acesta să evite utilizarea lor.



TABELUL 2.3

| Nr. crt. | Marca de oțel | Compoziția chimică, % |              |              |       |       |                 |                |                 |                 | Alte elemente <sup>x)</sup>                                           |
|----------|---------------|-----------------------|--------------|--------------|-------|-------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|
|          |               | C                     | M            | Si           | P     | S     | Ni <sup>x</sup> | V <sup>x</sup> | Nb <sup>x</sup> | Ti <sup>x</sup> |                                                                       |
|          |               | max.                  |              |              | max.  | max.  | max.            |                |                 |                 |                                                                       |
| 1        | OCS 44        | 0,20                  | 0,80<br>1,10 | max.<br>0,50 | 0,040 | 0,040 | -               | -              | -               | -               | -                                                                     |
| 2        | OCS 52        | 0,18                  | 1,10<br>1,60 | max.<br>0,50 | 0,030 | 0,030 | -               | -              | -               | -               | -                                                                     |
| 3        | OCS 55        | 0,20                  | 1,10<br>1,65 | max.<br>0,40 | 0,025 | 0,035 | 0,70            | min.<br>0,05   | min.<br>0,02    | min.<br>0,005   | -                                                                     |
| 4        | OCS 58        | 0,19                  | 1,10<br>1,65 | max.<br>0,40 | 0,035 | 0,035 | 0,80            | max.<br>0,18   | -               | -               | -                                                                     |
| 5        | OCS 90        | 0,18                  | 1,20<br>1,60 | 0,10<br>0,50 | 0,020 | 0,020 | 1,0             | max.<br>0,20   | max.<br>0,06    | max.<br>0,20    | Cr= max. 2,0<br>Mo= " 1,0<br>Zr = " 0,12<br>B = " 0,005<br>Cu = " 1,5 |

x) Aceste elemente de aliere se pot folosi separat sau în combinație, la latitudinea producătorului.

#### 2.3.4. Oțeluri sudabile cu limită de curgere ridicată, prelucrabile prin îndoire la rece

Oțelurile din această grupă sînt cuprinse în STAS 11505. Ele sînt destinate confecționării prin îndoire la rece a elementelor de structuri portante mecano-sudate, puternic solicitate, și se caracterizează printr-o mare capacitate de deformare, asociată cu o bună sudabilitate. În țara noastră, este standardizată o singură marcă de oțel din această familie, sub simbolul L 42 (tabelul 2.4).



TABELUL 2.4

| Marca<br>de oțel | Compoziția chimică, % |      |      |       |       |      |
|------------------|-----------------------|------|------|-------|-------|------|
|                  | C                     | M    | Si   | P     | S     | Ti   |
| L 42             | max.                  | 0,90 | max. | max.  | max.  | 0,10 |
|                  | 0,20                  | 1,50 | 0,40 | 0,035 | 0,030 | 0,20 |

2.3.5. Oțeluri pentru recipiente sub presiune

Aceste oțeluri, cuprinse în STAS 2883/2, 10382 și 11502, sînt destinate confecționării prin sudură a recipientelor sub presiune, care lucrează la temperatura normală și la temperaturi sub 0°C. Sînt standardizate 10 mărci de astfel de oțeluri, conform tabelului 2.5.

TABELUL 2.5

| Nr.<br>crt. | Marca<br>de oțel | Compoziția chimică, % |              |              |       |       |                 |                |                    |
|-------------|------------------|-----------------------|--------------|--------------|-------|-------|-----------------|----------------|--------------------|
|             |                  | C                     | Mn           | Si           | P     | S     | Ni <sup>x</sup> | V <sup>x</sup> | Nb <sup>x</sup>    |
|             |                  | max.                  |              |              | max.  | max.  | max.            | max.           | min.               |
| 1           | R 37             | 0,17                  | 0,30<br>0,80 | 0,20<br>0,40 | 0,040 | 0,040 | -               | -              | -                  |
| 2           | R 44             | 0,20                  | 0,80<br>1,10 | 0,20<br>0,40 | 0,040 | 0,040 | -               | -              | -                  |
| 3           | R 52             | 0,18                  | 1,10<br>1,60 | 0,17<br>0,45 | 0,035 | 0,035 | -               | -              | -                  |
| 4           | RV 52            | 0,18                  | 1,10<br>1,60 | 0,17<br>0,45 | 0,015 | 0,020 | -               | -              | -                  |
| 5           | R 55             | 0,20                  | 1,10<br>1,65 | 0,20<br>0,50 | 0,015 | 0,020 | 0,70            | 0,10           | 0,02               |
|             |                  |                       |              |              |       |       |                 |                | 0,025 <sup>x</sup> |



(continuare) TABELUL 2.5

| Nr. crt. | Marca de oțel | Compoziția chimică, % |              |              |       |       |                 |                |                      |
|----------|---------------|-----------------------|--------------|--------------|-------|-------|-----------------|----------------|----------------------|
|          |               | C                     | Mn           | Si           | P     | S     | Ni <sup>x</sup> | V <sup>x</sup> | Nb <sup>x</sup> Al   |
|          |               | max.                  |              |              | max.  | max.  | max.            | max.           | min. min.            |
| 6        | R 58          | 0,20                  | 1,10<br>1,65 | max<br>0,50  | 0,015 | 0,020 | 1,00            | 0,16           | - 0,025 <sup>x</sup> |
| 7        | 09Mn16        | 0,12                  | 1,40<br>1,80 | 0,17<br>0,37 | 0,035 | 0,040 | 0,30            | -              | - 0,020              |
| 8        | 16SiMn10      | 0,12<br>0,18          | 0,90<br>1,20 | 0,40<br>0,70 | 0,035 | 0,040 | -               | -              | - 0,020 <sup>x</sup> |
| 9        | 09SiMn16      | 0,12                  | 1,40<br>1,80 | 0,50<br>0,80 | 0,035 | 0,040 | 0,30            | -              | - 0,020              |
| 10       | 10Ni35        | max<br>0,12           | 0,30<br>0,60 | 0,15<br>0,35 | 0,035 | 0,035 | 3,20<br>3,80    | -              | - 0,020<br>0,060     |

x) Aceste elemente de aliere se pot folosi separat ori în combinație sau pot lipsi din compoziție la latitudinea producătorului, în funcție de caracteristicile cerute prin contract.

### 2.3.6. Oțeluri pentru cazane

Oțelurile din această grupă, destinate confecționării elementelor de cazane care se execută prin sudură, sînt cuprinse în STAS 2883/3 și însumează 5 mărci: K 41, K 47, K 52, 16Mo3 și 14CrMo4 (tabelul 2.6 ).



TABELUL 2.6

| Nr. crt. | Marca de oțel | Compoziția chimică, % |              |              |           |           |              |           |
|----------|---------------|-----------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|--------------|-----------|
|          |               | C                     | Mn           | Si           | P<br>max. | S<br>max. | Mo           | Cr        |
| 1        | K 41          | max.<br>0,20          | min.<br>0,50 | max.<br>0,40 | 0,045     | 0,045     | -            | -         |
| 2        | K 47          | max.<br>0,20          | min.<br>0,80 | max.<br>0,40 | 0,045     | 0,045     | -            | -         |
| 3        | K 52          | max.<br>0,22          | 0,90<br>1,60 | 0,40<br>0,60 | 0,040     | 0,040     | -            | -         |
| 4        | 16Mo3         | 0,12<br>0,20          | 0,50<br>0,80 | 0,15<br>0,35 | 0,040     | 0,040     | 0,25<br>0,40 | -         |
| 5        | 14CrMo4       | 0,10<br>0,18          | 0,40<br>0,80 | 0,15<br>0,35 | 0,040     | 0,040     | 0,40<br>0,55 | 0,<br>1,0 |

### 2.3.7. Oțeluri pentru construcții mecano-sudate, rezistente la uzură.

Multă vreme s-a luptat contra uzurii prin abraziune fără a se studia corespunzător fenomenul; în acea perioadă marca de oțel cea mai des întrebuințată era OL 60. În ultimii 10 ani, însă, problema sporirii rezistenței oțelurilor la uzură prin abraziune a devenit o preocupare intensă și continuă atât din partea producătorilor, cât și a consumatorilor.

Trebuie menționat că încercările efectuate în acest domeniu sînt foarte delicate:

- în laborator, pentru a diminua durata încercării, trebuie modificată o serie de parametri operatori, ceea ce poate perturba grav rezultatele încercărilor efectuate;

- pe șantier, numeroși parametri și fenomene străine de uzura prin abraziune, precum coroziunea atmosferică, opririle acciden-



tale, modificările calitative ale produsului etc., modifică, la rîndul lor, rezultatele.

Acest lucru explică tendința ce se manifestă, deseori, spre soluții facile de tip OL 60, deși uzura prin abraziune, care provoacă opriri nedorite ale instalațiilor, determină costuri considerabile pe ansamblul industriei. În prezent, proiectanții ca și cei ce exploatează produsul se află în fața unui număr impresionant de soluții ce li se propun pentru rezolvarea problemelor.

Dintre acestea, la noi în țară s-a optat, în cazul construcțiilor mecano-sudate, pentru o marcă de oțel 20 Mn 10, care s-a tipizat și standardizat (STAS 11513) și al cărui simbol este alcătuit pe baza regulii ce se aplică mărcilor de oțeluri aliate. Compoziția acestei mărci de oțel este redată în tabelul 2.7.

TABELUL 2.7

| Marca<br>de oțel | Compoziția chimică, % |     |      |       |       |
|------------------|-----------------------|-----|------|-------|-------|
|                  | C                     | Mn  | Si   | P     | S     |
| 20 Mn 10         | 0,17                  | 0,7 | max  | 0,035 | 0,045 |
|                  | 0,24                  | 1,0 | 0,50 |       |       |

#### 2.4. Oțelurile pentru organe și alte elemente componente de mașini

Oțelurile care alcătuiesc această familie sînt utilizate la fabricarea de piese și elemente componente de mașini, utilaje și instalații tehnologice, din care marea majoritate sînt solicitate dinamic, afluindu-se în mișcare. Prin acțiunea de tipizare, care a urmărit, în primul rînd, raționalizarea numărului mărcilor de oțel pentru utilizări curente în industria construcțiilor de mașini, s-a reușit o bună sistematizare a lor, asigurîndu-se cu 113 mărci - bine definite prin compoziția lor chimică și caracteristicile mecanice - acoperirea tuturor problemelor de mecanică curentă.

Aceste oțeluri se împart în trei mari subfamiii care reunesc mărcile ce prezintă un număr de trăsături comune, mai ales în ceea ce privește calitatea produselor:

- subfamilia oțelurilor carbon de uz general;
- subfamilia oțelurilor carbon de calitate;
- subfamilia oțelurilor slab aliate și aliate.



2.4.1. Oțeluri carbon de uz general

Aceste oțeluri sînt cuprinse în standardul de stat 500/2, a-lături de oțelurile clasice carbon și slab aliate pentru construcții mecano-sudate, și sînt în număr de 7: OL 32, OL 34, OL 42, OL 50, OL 60, OL 70 și OL 30 (tabelul 2.8); dintre acestea, marca de oțel OL 42 se livrează în trei calități (1, 2 și 3) și poate fi utilizată și în domeniul construcțiilor mecano-sudate.

TABELUL 2.8

| Nr. crt. | Marca de oțel | Calitatea | Modul de dare  | Compoziția chimică, %    |      |                     |       |       |       |
|----------|---------------|-----------|----------------|--------------------------|------|---------------------|-------|-------|-------|
|          |               |           |                | C                        | Mn   | Si                  | P     | S     | Al    |
|          |               |           |                | zoxi - max.              | max. | max.                | max.  | max.  | min.  |
| 1        | OL 32         | 1         | $\frac{n}{s}$  | 0,12                     | 0,55 | 0,07                | 0,050 | 0,050 | -     |
|          |               |           | $\frac{s}{k}$  |                          |      | 0,17                |       |       |       |
|          |               |           | $\frac{k}{k}$  |                          |      | 0,50                |       |       |       |
| 2        | OL 34         | 1         | $\frac{n}{s}$  | 0,15                     |      | 0,07                |       |       |       |
|          |               |           | $\frac{s}{k}$  |                          |      | 0,17                |       |       |       |
|          |               |           | $\frac{k}{k}$  |                          |      | 0,50                |       |       |       |
| 3        | OL 42         | 1         | $\frac{n}{s}$  | 0,25                     |      | 0,07                | 0,060 | 0,060 |       |
|          |               |           | $\frac{s}{k}$  |                          |      | 0,17                |       |       |       |
|          |               |           | $\frac{k}{k}$  |                          |      | 0,40                |       |       |       |
|          |               | 2         | $\frac{n}{s}$  |                          |      | 0,07                | 0,050 | 0,050 | -     |
|          |               |           | $\frac{s}{k}$  |                          |      | 0,17                |       |       |       |
|          |               |           | $\frac{k}{kf}$ |                          |      |                     |       |       |       |
|          |               | 3         | $\frac{k}{kf}$ | 0,23                     | 0,80 |                     | 0,045 | 0,045 | 0,020 |
| 4        | OL 50         | 1         | k              | circa 0,30 <sup>x)</sup> |      | 0,40                |       |       |       |
| 5        | OL 60         | 1         | k              | circa 0,40 <sup>x)</sup> |      |                     | 0,050 | 0,050 | -     |
| 6        | OL 70         | 1         | k              | circa 0,50 <sup>x)</sup> |      |                     |       |       |       |
| 7        | OL 30         | -         | -              | -                        | -    | 0,07 <sup>xx)</sup> | 0,080 | 0,080 | -     |

x) Conținutul se referă la produs;

xx) Se admite și livrarea în varianta semicalmată sau calmată în funcție de caracteristicile mecanice solicitate.



În mod practic, din cele 7 mărci de oțel standardizate, se alcătuiesc această grupă, industria construcțiilor de mașini nu utilizează decât patru (OL 42, OL 50, OL 60 și OL 70), în timp ce celelalte trei mărci (OL 32, OL 34 și OL 30) sînt utilizate pentru construcții diverse, lipsite de importanță din punct de vedere al solicitării.

Cele patru mărci de oțel, utilizate în mod curent în mecanică, pot, de regulă, să fie tratate termic, îmbunătățite, dar rezultatul acestei operații nu este niciodată garantat și, în plus, prezintă o destul de mare dispersie a valorilor caracteristicilor mecanice obținute, de la o piesă la alta.

#### 2.4.2. Oțeluri pentru tratamente termice

##### 2.4.2.1. Oțeluri carbon de calitate

Oțelurile care alcătuiesc această subfamilie răspund exigențelor prescrise prin standardul de stat 880; spre deosebire de oțelurile din familia precedentă, oțelurile din această grupă nu sînt tratate termic în mod întîmplător, ci sînt concepute și elaborate în vederea unui tratament termic, chiar dacă acesta nu este decât un tratament de normalizare.

Altfel spus, utilizarea unui oțel din această familie în starea naturală de după laminare echivalează cu renunțarea la o parte importantă din calitățile sale și din garanțiile referitoare la caracteristicile mecanice aferente mărcii. De aici rezultă necesitatea de a se preciza, întotdeauna, cît mai bine, întreprinderii furnizoare starea de livrare a produsului și de a se prevedea prin proiect tratarea termică a pieselor ce se execută din astfel de oțeluri.

Această subfamilie de oțeluri cuprinde două serii de cîte 9 și, respectiv, 12 mărci:

- seria oțelurilor de calitate: OLC 08, OLC 10, OLC 15, OLC 20, OLC 35, OLC 45, OLC 50, OLC 55, OLC 60;

- seria oțelurilor de calitate superioară: OLC 08 X, OLC 10 X, OLC 15 X, OLC 20 X, OLC 35 X, OLC 38 X, OLC 38 BX, OLC 42 X, OLC 45 X, OLC 50 X, OLC 55 X și OLC 60 X.

De notat că în fiecare serie există și varianta cu conținut de sulf controlat, în care caz simbolul se completează cu litera S; de exemplu, OLC 45 S sau OLC 45 XS.

Datele referitoare la compoziția chimică a acestor oțeluri, redate în tabelul 2.9, arată că între mărcile din prima serie și cea de-a doua există mici diferențe, ele deosebindu-se exclusiv prin nivelul de puritate chimică (conținut de sulf și fosfor). Trebuie remarcat,



Însă, că în practică oțelurile din prima serie se situează în marea majoritate a cazurilor la același nivel cu oțelurile din seria a doua, ceea ce conduce la concluzia că este preferabil să nu se exagereze la comandă - cu oțelurile de calitate superioară.

TABELUL 2.9

| Nr.<br>crt.                        | Marca<br>de oțel | Cali-<br>tatea | Compoziția chimică, % |      |      |           |                | Alte<br>elemente |
|------------------------------------|------------------|----------------|-----------------------|------|------|-----------|----------------|------------------|
|                                    |                  |                | C                     | Mn   | Si   | P<br>max. | S              |                  |
| a) <u>oțeluri pentru cementare</u> |                  |                |                       |      |      |           |                |                  |
| 1                                  | OLC 08           | -              |                       |      |      |           | max.<br>0,045  | -                |
|                                    |                  | S              | 0,05                  | 0,35 | 0,17 | 0,040     | 0,020          |                  |
|                                    |                  | —              | 0,10                  | 0,65 | 0,37 |           | 0,045          |                  |
|                                    |                  | X              |                       |      |      | 0,035     | 0,035          |                  |
|                                    |                  | XS             |                       |      |      |           | 0,020<br>0,040 |                  |
| 2                                  | OLC 10           | -              |                       |      |      |           | max.<br>0,045  | -                |
|                                    |                  | S              | 0,07                  | 0,35 | 0,17 | 0,040     | 0,020          |                  |
|                                    |                  | —              |                       |      |      |           | 0,045          |                  |
|                                    |                  | X              | 0,13                  | 0,65 | 0,37 |           | max.<br>0,035  |                  |
|                                    |                  | XS             |                       |      |      | 0,035     | 0,020<br>0,040 |                  |
| 3                                  | OLC 15           | -              |                       |      |      |           | max.<br>0,045  | -                |
|                                    |                  | S              |                       |      |      | 0,040     | 0,020          |                  |
|                                    |                  | —              |                       |      |      |           | 0,045          |                  |
|                                    |                  | X              | 0,12                  | 0,35 | 0,17 |           | max.<br>0,055  |                  |
|                                    |                  | XS             | 0,18                  | 0,65 | 0,37 | 0,035     | 0,020<br>0,040 |                  |



(continuare) TABELUL 1.9

| Nr.<br>crt. | Marca<br>de oțel | Cali-<br>tatea | Compoziția chimică, % |      |      |           |               | Alte<br>elemente |
|-------------|------------------|----------------|-----------------------|------|------|-----------|---------------|------------------|
|             |                  |                | C                     | Mn   | Si   | P<br>max. | S             |                  |
| 4           | OLC 20           | -              |                       |      |      |           | max.<br>0,045 |                  |
|             |                  | S              |                       |      |      | 0,040     | 0,020         |                  |
|             |                  |                | 0,17                  | 0,35 | 0,17 |           | 0,040         | -                |
|             |                  | X              | 0,24                  | 0,65 | 0,37 |           | max.<br>0,035 |                  |
|             |                  |                |                       |      |      | 0,035     | 0,020         |                  |
|             |                  | XS             |                       |      |      |           | 0,040         |                  |

b) oțeluri pentru îmbunătățire

|   |         |    |      |      |      |       |               |                |
|---|---------|----|------|------|------|-------|---------------|----------------|
| 5 | OLC 35  | -  |      |      |      |       | max.<br>0,045 |                |
|   |         | S  | 0,32 | 0,50 | 0,17 | 0,040 | 0,020         |                |
|   |         |    |      |      |      |       | 0,045         |                |
|   |         | X  | 0,39 | 0,80 | 0,37 |       | max.<br>0,035 |                |
|   |         | XS |      |      |      | 0,035 | 0,020         |                |
| 6 | OLC 38  | XS | 0,34 | 0,50 | 0,15 | 0,030 | 0,020         | -              |
|   |         |    | 0,42 | 0,80 | 0,40 |       | 0,030         |                |
| 7 | OLC 38B | XS | 0,34 | 0,50 | 0,10 | 0,030 | 0,020         | min.<br>0,0005 |
|   |         |    | 0,42 | 1,00 | 0,40 |       | 0,030         |                |
| 8 | OLC 42  | XS | 0,39 | 0,50 | 0,10 | 0,030 | 0,020         | -              |
|   |         |    | 0,47 | 0,80 | 0,40 |       | 0,040         |                |



(continuare) TABELUL 2.9

| Nr. crt. | Marca de oțel | Canti-<br>tatea | Compoziția chimică, % |      |      |           |               | Alte<br>elemente |
|----------|---------------|-----------------|-----------------------|------|------|-----------|---------------|------------------|
|          |               |                 | C                     | Mn   | Si   | P<br>max. | S<br>max.     |                  |
| 9        | OLC 45        | -               |                       |      |      |           | max.<br>0,045 |                  |
|          |               | S               | 0,42                  | 0,50 |      | 0,040     | 0,020         |                  |
|          |               |                 |                       |      |      |           | 0,445         | -                |
|          |               | X               | 0,50                  | 0,80 |      |           | max.<br>0,035 |                  |
|          |               |                 |                       |      | 0,17 | 0,035     | 0,020         |                  |
|          |               | XS              |                       |      |      |           | 0,040         |                  |
| 10       | OLC 50        | AT2             | 0,42                  | 0,70 | 0,37 |           | max.<br>0,030 | 0,001            |
|          |               |                 | 0,47                  | 1,00 |      | 0,030     | 0,030         | 0,003 B          |
|          |               |                 |                       |      |      |           |               | 0,01             |
|          |               |                 |                       |      |      |           |               | 0,04 Ti          |
|          |               | -               |                       |      |      |           | max.<br>0,045 |                  |
|          |               | S               | 0,47                  | 0,50 | 0,17 | 0,040     | 0,020         |                  |
| 11       | OLC 55        |                 |                       |      |      |           | 0,040         | -                |
|          |               | X               | 0,55                  | 0,80 | 0,37 |           | max.<br>0,035 |                  |
|          |               |                 |                       |      |      | 0,035     | 0,020         |                  |
|          |               | XS              |                       |      |      |           | 0,040         |                  |
|          |               | -               |                       |      |      |           | max.<br>0,045 |                  |
|          |               | S               | 0,52                  | 0,50 | 0,17 | 0,040     | 0,020         |                  |
| 12       | OLC 60        |                 |                       |      |      |           | 0,045         | -                |
|          |               | X               | 0,60                  | 0,80 | 0,37 |           | max.<br>0,035 |                  |
|          |               |                 |                       |      |      | 0,035     | 0,020         |                  |
|          |               | XS              |                       |      |      |           | 0,040         |                  |
|          |               | -               |                       |      |      |           | max.<br>0,045 |                  |
|          |               | S               | 0,57                  | 0,50 | 0,17 | 0,040     | 0,020         |                  |
|          |               |                 |                       |      |      |           | 0,45          | -                |
|          |               | X               | 0,65                  | 0,80 | 0,37 |           | max.<br>0,035 |                  |
|          |               |                 |                       |      |      | 0,035     | 0,020         |                  |
|          |               | XS              |                       |      |      |           | 0,040         |                  |
|          |               | -               |                       |      |      |           | max.<br>0,045 |                  |
|          |               | S               | 0,57                  | 0,50 | 0,17 | 0,040     | 0,020         |                  |



Pentru a controla călibilitatea, compoziția chimică a tuturor mărcilor din această subfamilie este perfect determinată.

Menționăm că mărcile cele mai utilizate sînt OLC 10, OLC 10 X, OLC 15, OLC 15 X, OLC 35, OLC 35 X, OLC 45 și OLC 45X.

#### 2.4.2.2. Oțeluri slab aliate și aliate

Anterior, am arătat că este recomandabil ca oțelurile carbon de calitate pentru tratamente termice să fie utilizate în stare tratată, deoarece în caz contrar nu se valorifică o parte din proprietățile lor potențiale. Cu atît mai mult, oțelurile slab aliate și cele aliate pentru tratamente termice trebuie, în mod obligatoriu, să fie utilizate în stare tratată, cu excepția unor cazuri particulare, extrem de rare. A nu trata un oțel aliat echivalează cu întrebuițarea lui la nivelul unor caracteristici comparabile oțelurilor carbon OL 60 și OL 70, dar la un preț cu mult mai ridicat.

Elementele de aliere exercită o influență hotărîtoare, ce constă în accentuarea călibilității, motiv pentru care cantitatea și diversitatea acestor elemente se amplifică pe măsură ce dimensiunea transversală a piesei crește. Această observație arată că în cazul pieselor de dimensiuni mici este total inutil să se utilizeze mărci bogate în elemente de aliere.

Oțelurile slab aliate și aliate pentru tratamente termice corespund cerințelor prescrise prin standardele de stat 791; 7450; 11500/1 și 2; 11506; 11511 și 11513, care garantează compoziția fiecărei mărci - în cadrul intervalului de variație prescris (tabelul 2.10) -, precum și caracteristicile de bază.

În cazul variantei "cu conținut controlat de sulf", simbolul se completează cu litera S; de exemplu, 18MnCr10S; al variantei "calitate superioară" cu litera X; de exemplu, 18MnCr10X; în sfîrșit, al variantei "calitate superioară cu conținut de sulf controlat" cu literele XS; de exemplu, 18MnCr10XS.



TABELUL 2.10

| Nr. crt. | Marca de oțel | Compoziția chimică, % |              |              |                     |                     |              |               |    | Alte elemente                                  |
|----------|---------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|--------------|---------------|----|------------------------------------------------|
|          |               | C                     | Mn           | Si           | P max.              | S max.              | Cr           | Ni            | Mo |                                                |
| 1        | 35Mn16        | 0,32<br>0,42          | 1,40<br>1,80 |              |                     |                     | -            | -             | -  | -                                              |
| 2        | 40Mn10        | 0,37<br>0,45          | 0,70<br>1,00 | 0,17<br>0,37 | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> | max.<br>0,30 | max.<br>0,030 | -  | max.<br>0,30 Cu                                |
| 3        | 65Mn10        | 0,60<br>0,70          | 0,90<br>1,20 |              |                     |                     | -            | -             | -  | -                                              |
| 4        | 120Mn120      | 1,10<br>1,30          | 12,0<br>13,0 | max.<br>0,50 | 0,100               | 0,040               | -            | -             | -  | -                                              |
| 5        | 19MnB2        | 0,15<br>0,23          | 0,80<br>1,10 | max.<br>0,25 | 0,035               | 0,035               | -            | -             | -  | min.<br>0,002 B                                |
| 6        | 20MnB5        | 0,17<br>0,23          | 1,10<br>1,40 | 0,10<br>0,40 | 0,035               | 0,035               | -            | -             | -  | min. 0,025 Al<br>0,003-0,005 B<br>0,01-0,04 Ti |



TABELUL 2.10 (continuare)

| Nr.<br>crt. | Marca de<br>oțel | Compoziția chimică, % |              |              |                     |                     |              |              |              |                  |
|-------------|------------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
|             |                  | C                     | Mn           | Si           | P<br>max.           | S<br>max.           | Cr           | Ni           | Mo           | Alte<br>elemente |
| 7           | 18MnCr10         | 0,15<br>0,22          | 0,90<br>1,20 | 0,17<br>0,37 | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,90<br>1,20 | -            | -            | -                |
| 8           | 26MnSi14         | 0,23<br>0,29          | 1,20<br>1,60 | 1,20<br>1,60 | 0,030               | 0,030               | max.<br>0,30 | 0,30<br>0,50 | 0,15<br>0,25 | -                |
| 9           | 35MnSi12         | 0,31<br>0,39          | 1,10<br>1,40 | 1,10<br>1,40 | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> | -            | -            | -            | -                |
| 10          | 15Cr08           | 0,12<br>0,18          | 0,40<br>0,70 | 0,17<br>0,37 |                     |                     | 0,70<br>1,00 | -            | -            | -                |
| 11          | 32Cr10           | 0,29<br>0,35          | 0,60         | max.<br>0,40 | 0,025               | 0,020               | 0,85         |              |              |                  |
| 12          | 37Cr10           | 0,34<br>0,40          | 0,90         | 0,17<br>0,37 |                     | 0,035               | 1,15         | -            | -            | -                |



TABELUL 2.10 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel | Compoziția chimică, % |              |              |                     |                     |              |              |    | Alte elemente    |
|----------|---------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|----|------------------|
|          |               | C                     | Mn           | Si           | P max.              | S max.              | Cr           | Ni           | Mo |                  |
| 13       | 38Cr05        | 0,34<br>0,40          | 0,60<br>0,80 | 0,17<br>0,37 | 0,030               | 0,020<br>0,040      | 0,30<br>0,60 | -            | -  | -                |
| 14       | 40Cr10        | 0,36<br>0,44          | 0,50<br>0,80 |              | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,80<br>1,10 | -            | -  | -                |
| 15       | 13CrNi30      | 0,09<br>0,16          | 0,30<br>0,60 |              |                     |                     | 0,60<br>0,90 | 2,75<br>3,15 |    |                  |
| 16       | 18CrNi20      | 0,15<br>0,20          | 0,40<br>0,60 | 0,17         | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> | 1,80<br>2,10 | 1,80<br>2,10 | -  | -                |
| 17       | 41CrNi12      | 0,37<br>0,45          | 0,40<br>0,80 | 0,37         |                     |                     | 0,45<br>0,75 | 1,00<br>1,40 |    |                  |
| 18       | 40BCr10       | 0,36<br>0,44          | 0,50<br>0,80 |              |                     |                     | 0,80<br>1,10 | -            | -  | 0,001<br>0,003 B |



TABELUL 2.10 (Continuare)

| Nr.<br>ort. | Marca de<br>oțel | Compoziția chimică, % |              |               |                     |                     |              |              |              |                  |
|-------------|------------------|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
|             |                  | C                     | Mn           | Si            | P<br>max.           | S<br>max.           | Cr           | Ni           | Mo           | Alte<br>elemente |
| 19          | 31VCr06          | 0,28<br>0,35          | 0,40<br>0,60 | max.<br>0,40  | 0,030               | 0,030               | 0,40<br>0,70 | -            | -            | 0,07<br>0,12 V   |
| 20          | 50VCr11          | 0,45<br>0,55          | 0,55<br>0,90 | 0,17<br>0,37  | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,90<br>1,20 | -            | -            | 0,10<br>0,25 V   |
| 21          | 12MoCr10         | 0,10<br>0,15          |              |               |                     | 0,020               |              | max.<br>0,20 |              | -                |
| 22          | 16MoCr10         | 0,14<br>0,19          | 0,60<br>0,85 | max.<br>0,040 | 0,025               | 0,020<br>0,035      | 0,95<br>1,20 | max.<br>0,25 | 0,20<br>0,30 | max.<br>0,20 Cu  |
| 23          | 20MoCr10         | 0,16<br>0,22          |              |               |                     | 0,020<br>0,040      |              |              |              |                  |
| 24          | 25MoCr10         | 0,22<br>0,28          | 0,60<br>0,90 |               |                     |                     | 0,85<br>1,15 |              | 0,15<br>0,30 |                  |
|             |                  |                       |              | 0,10          |                     | 0,020               |              |              |              |                  |
| 25          | 27MoCr10         | 0,24<br>0,31          | 0,60<br>0,85 | 0,40          | 0,025               | 0,040               | 0,95<br>1,25 | -            | 0,20<br>0,30 | -                |



TABELUL 2.10 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel | Compoziția chimică, % |              |              |                     |                     |              |              |              | Alte elemente |
|----------|---------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|          |               | C                     | Mn           | Si           | P max.              | S max.              | Cr           | Ni           | Mo           |               |
| 26       | 30MoCr10      | 0,27<br>0,34          | 0,60<br>0,85 |              | 0,025               | 0,020               | 0,95<br>1,25 | —            | 0,20<br>0,30 | —             |
| 27       | 33MoCr10      | 0,30<br>0,36          |              |              |                     | 0,035               |              |              |              |               |
| 28       | 33MoCr11      | 0,30<br>0,37          | 0,40         | 0,17<br>0,37 | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,90<br>1,30 | —            | 0,15<br>0,30 | —             |
| 29       | 41MoCr11      | 0,38<br>0,45          | 0,80         |              |                     |                     |              |              |              |               |
| 30       | 17MoNi35      | 0,14<br>0,20          | 0,30<br>0,70 |              | 0,025               | 0,025               |              | 3,20<br>3,80 |              |               |
| 31       | 20MoNi18      | 0,18                  | 0,70<br>0,90 | 0,20<br>0,35 | 0,040               | 0,040               | —            | 1,65<br>2,00 | 0,20<br>0,30 | —             |
| 32       | 20MoNi35      | 0,23                  | 0,40<br>0,70 | 0,17<br>0,37 | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> |              | 3,25<br>3,75 |              |               |



TABELUL 2.10 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel | Compoziția chimică, % |              |              |                     |                     |              |              |              |               |
|----------|---------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|          |               | C                     | Mn           | Si           | P max.              | S max.              | Cr           | Ni           | Mo           | Alte elemente |
| 33       | 21TiMnCr12    | 0,18<br>0,24          | 0,80         |              |                     |                     | 1,00         |              |              | 0,04          |
| 34       | 28TiMnCr12    | 0,25<br>0,32          | 1,10         | 0,17<br>0,37 |                     |                     | 1,30         |              |              | 0,10 Ti       |
| 35       | 21MoMnCr12    | 0,18<br>0,24          | 0,80<br>1,20 |              | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> | 1,00<br>1,40 |              | 0,20<br>0,30 |               |
| 36       | 17MoCrNi15    | 0,15                  | 0,40<br>0,60 | 0,15<br>0,40 |                     |                     | 1,50<br>1,80 | 1,40<br>1,70 | 0,25<br>0,35 |               |
| 37       | 18MoCrNi13    | 0,21                  | 0,50<br>0,80 | 0,17<br>0,37 |                     |                     | 0,80<br>1,10 | 1,20<br>1,50 | 0,15<br>0,30 |               |
| 38       | 20MoCrNi06    | 0,17<br>0,23          | 0,60<br>0,90 | 0,20         | 0,025               | 0,025               | 0,35         | 0,35         | 0,20<br>0,30 | max.          |
| 39       | 22MoCrNi05    | 0,19<br>0,25          | 0,70<br>1,05 | 0,35         |                     |                     | 0,65         | 0,75         | 0,30<br>0,40 | 0,30 Cu       |



TABELUL 2.10 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel | Compoziția chimică, % |      |              |                     |                     |      |      |      |               |
|----------|---------------|-----------------------|------|--------------|---------------------|---------------------|------|------|------|---------------|
|          |               | C                     | Mn   | Si           | P max.              | S max.              | Cr   | Ni   | Mo   | Alte elemente |
| 40       | 30MoCrNi20    | 0,26                  | 0,30 | 0,17         | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> | 1,80 | 1,80 | 0,25 | —             |
|          |               | 0,34                  | 0,60 |              |                     |                     | 2,10 | 2,10 | 0,35 |               |
| 41       | 34MoCrNi15    | 0,30                  | 0,40 | 0,37         |                     |                     | 1,40 | 1,40 | 0,15 | —             |
|          |               | 0,38                  | 0,70 |              |                     |                     | 1,70 | 1,70 | 0,30 |               |
| 42       | 35MoCrNi40    | 0,30                  |      | 0,10<br>0,40 | 0,030               | 0,025               | 1,60 | 3,70 | 0,30 | —             |
|          |               | 0,37                  |      |              |                     |                     | 2,00 | 4,20 | 0,50 |               |
| 43       | 38MoCrAl09    | 0,35                  | 0,30 | 0,17         | 0,035 <sup>x)</sup> | 0,035 <sup>x)</sup> | 1,35 |      | 0,15 | 0,70 Al       |
|          |               | 0,42                  | 0,60 |              |                     |                     | 1,65 | —    | 0,30 | 1,10          |
| 44       | 34MoNiCrAl09  | 0,30                  | 0,40 | 0,37         |                     |                     | 1,50 | 0,85 | 0,15 | 0,80 Al       |
|          |               | 0,37                  | 0,70 |              |                     |                     | 1,80 | 1,15 | 0,25 | 1,20          |

x) - se livrează și în următoarele variante de calitate:

- cu conținut de sulf controlat, în care caz  $S = 0,020 \dots 0,040\%$ ;
- calitate superioară, în care caz  $S$  și  $P \leq 0,025\%$ ;
- calitate superioară cu conținut de sulf controlat, în care caz  $S = 0,020 \dots 0,035\%$ , iar  $P \leq 0,025\%$ .



## 2.5. Oțelurile pentru ambutisare sau îndoire la rece

Oțelurile din această familie, în număr de 7, corespund cerințelor prescrise prin standardele de stat 9485, 10318 și 11501 și sînt destinate executării pieselor de mașini prin îndoire sau ambutisare la rece în industria de autovehicule, mașini agricole, articole de menaj etc.

Compozițiile chimice ale mărcilor tipizate sînt redată în tabelul 2.11.

TABELUL 2.11

| Nr. Marca<br>crt. de oțel | Compoziția chimică, % |              |       |       |       |      |      |      |
|---------------------------|-----------------------|--------------|-------|-------|-------|------|------|------|
|                           | C                     | Mn           | Si    | P     | S     | Cr   | Ni   | Cu   |
|                           | max.                  |              | max.  | max.  | max.  | max. | max. | max. |
| 1 A 21                    |                       | 0,40<br>1,00 | 0,30  | 0,035 | 0,035 |      |      |      |
| 2 A 1 <sup>x)</sup>       | 0,10                  | 0,20<br>0,45 |       | 0,050 | 0,050 |      |      |      |
| 3 A 2 <sup>x)</sup>       |                       |              | 0,030 | 0,040 | 0,040 | 0,06 | 0,08 | 0,08 |
| 4 A 3 <sup>x)</sup>       | 0,08                  | 0,20<br>0,40 |       | 0,030 | 0,035 |      |      |      |
| 5 A3Ck <sup>xx)</sup>     |                       | 0,20<br>0,45 |       |       |       |      |      |      |
| 6 A 4                     | 0,10                  | max.<br>0,50 | 0,050 | 0,035 | 0,035 | 0,03 | 0,10 | 0,10 |
| 7 A 5 <sup>xxx)</sup>     | 0,08                  | max.<br>0,40 | 0,100 | 0,025 | 0,030 |      |      |      |

x) - Aceste mărci se pot livra și în varianta "calmate cu aluminiu", în care caz conținutul acestuia va fi de 0,015 ... 0,080%

xx) Marca de oțel A3Ck poate fi livrată și calmată cu aluminiu, în care caz Al = min. 0,020%.

xxx) Marca de oțel A5 se livrează calmat, dezoxidarea făcîndu-se cu aluminiu sau cu alte elemente, la aprecierea producătorului.



În afara acestor 7 mărci de oțel pentru ambutisare, în tipizare este prevăzută și o a opta marcă de oțel A5-E, destinată execuției de cuplaje electromagnetice. Compoziția acestei mărci, conform NTR 476, este următoarea: C = max. 0,05%; Mn = max. 0,25%; Si = max. 0,20%; P = max. 0,020%; S = max. 0,025% și Al = max. 0,06%, iar conținutul în elemente reziduale ca la oțelul marca A 5.

## 2.6. Oțelurile pentru arcuri

Această familie cuprinde 13 mărci de oțel, care corespund cerințelor tehnice prescrise prin STAS 795, 11500/2 și 11514 și sînt destinate confecționării de arcuri utilizate în industria construcțiilor de mașini. Compozițiile chimice ale acestor mărci de oțel sînt redată în tabelul 2.12.

TABELUL 2.12

| Nr. crt. | Marca de oțel | Compoziția chimică, % |      |      |           |           |              |              |                  |
|----------|---------------|-----------------------|------|------|-----------|-----------|--------------|--------------|------------------|
|          |               | C                     | Mn   | Si   | P<br>max. | S<br>max. | Cr           | Ni<br>max.   | Alte<br>elemente |
| 1        | OLC 55 A      | 0,52<br>0,60          |      |      |           |           | —            | —            |                  |
| 2        | OLC 65 A      | 0,62<br>0,70          | 0,50 | 0,17 | 0,040     | 0,040     | max.<br>0,30 | max.<br>0,30 | max.<br>0,25 Cu  |
| 3        | OLC 75 A      | 0,70<br>0,80          | 0,80 | 0,37 |           |           |              |              |                  |
| 4        | OLC 85 A      | 0,82<br>0,90          |      |      |           |           |              |              |                  |
| 5        | 40Si17 A      | 0,36<br>0,44          | 0,60 | 1,50 | 0,040     | 0,040     | max.<br>0,30 | max.<br>0,30 | max.<br>0,25 Cu  |
| 6        | 51Si17 A      | 0,47<br>0,55          | 0,90 | 2,00 |           |           |              |              |                  |



TABELUL 2.12 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel | Compoziția chimică, % |              |              |        |        |              |         |                                   |
|----------|---------------|-----------------------|--------------|--------------|--------|--------|--------------|---------|-----------------------------------|
|          |               | C                     | Mn           | Si           | P max. | S max. | Cr           | Ni max. | Alte elemente                     |
| 7        | 56Si17 A      | 0,52<br>0,60          | 0,60         | 1,40<br>2,00 | 0,040  |        |              |         |                                   |
|          |               |                       | 1,00         |              |        |        |              |         |                                   |
| 8        | 60Si15 A      | 0,55                  |              | 1,30<br>1,80 |        | 0,040  | max.<br>0,30 | 0,30    | max.<br>0,25 Cu                   |
| 9        | X             | 0,65                  | 0,80<br>1,10 | 1,50<br>1,90 |        |        |              |         |                                   |
| 10       | 51VCr11 A     | 0,47<br>0,55          | 0,70<br>1,10 | 0,17<br>0,37 |        |        | 0,90<br>1,20 | —       | 0,10<br>0,25 V                    |
|          |               |                       |              |              | 0,035  | 0,035  |              |         |                                   |
| 11       | 67CrSi12 A    | 0,62<br>0,72          | 0,40<br>0,60 | 1,20<br>1,40 |        |        | 0,40<br>0,60 | 0,30    | max.<br>0,25 Cu                   |
| 12       | 65Si12W A     | 0,61<br>0,69          | 0,70<br>1,00 | 1,50<br>2,00 | 0,025  | 0,025  | max.<br>0,30 | 0,25    | max.<br>0,20 Cu<br>0,80<br>1,20 W |
| 13       | 60CrMnSi12A   | 0,55<br>0,65          | 0,90<br>1,10 | 1,00<br>1,30 | 0,035  | 0,035  | 0,40<br>0,60 | 0,30    | max.<br>0,25 Cu                   |

### 2.7. Oțelurile pentru rulmenți

Oțelurile, care alcătuiesc această familie, sînt destinate producției de rulmenți și răspund prescripțiilor tehnice din STAS 791, 1456/1, 7450, 11250 și 11507. Familia întrunește 6 mărci, din care două de cementare și, respectiv, 4 de îmbunătățire, ale căror compoziții chimice sînt cele din tabelul 2.13.



TABELUL 2.13

| Nr. crt. | Marca de oțel       | Compoziția chimică, % |              |              |           |           |              |              |              | Alte elemente                    |
|----------|---------------------|-----------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|--------------|--------------|--------------|----------------------------------|
|          |                     | C                     | Mn           | Si           | P<br>max. | S<br>max. | Cr           | Ni           | Mo           |                                  |
| 1        | 13CrNi135           | 0,09<br>0,16          | 0,30<br>0,60 | 0,17<br>0,37 | 0,035     | 0,035     | 1,25<br>1,65 | 3,25<br>3,65 | -            | -                                |
| 2        | 20MoCr05            | 0,18<br>0,23          | 0,70<br>0,90 | max.<br>0,40 | 0,040     | 0,040     | 0,40<br>0,60 | max.<br>0,25 | 0,08<br>0,15 | max.<br>0,20                     |
| 3        | 55SiMo              | 0,50<br>0,60          | 0,30<br>0,60 | 0,80<br>1,10 | 0,025     | 0,025     | max.<br>0,25 |              | 0,40<br>0,60 | max.<br>0,30Cu<br>max.<br>0,02Ti |
| 4        | RUL 1 <sup>x)</sup> |                       | 0,20<br>0,45 | 0,17<br>0,37 |           |           | 1,30         |              |              | max.<br>0,25Cu                   |
| 5        | RUL 2 <sup>x)</sup> | 0,95<br>1,10          | 0,90<br>1,20 | 0,40<br>0,65 | 0,027     | 0,020     | 1,65<br>0,30 | max.<br>0,30 | 0,03         | max.<br>0,40<br>Cu+Ni            |
| 6        | RUL 3V              |                       | 1,05<br>1,35 | 0,20<br>0,35 |           |           | 1,10<br>1,50 |              | 0,45<br>0,60 | max.<br>0,25Cu                   |

2.8. Nomenclatorul mărcilor de oțel pentru construcții mecanice tipizate în R.S.România și corespondența lor cu cele produse în alte țări

Corespondența între mărcile noastre de oțeluri pentru construcții mecanice și cele reglementate prin documente tehnice normative de standardizare în principalele țări producătoare de astfel de oțeluri cu

<sup>x)</sup> În cazul aplicării tratamentului de dezoxidare în vid, mărcile RUL 1 și RUL 2 se simbolizează RUL 1 V și RUL 2 V și prezintă condiții superioare de puritate chimică și alte proprietăți.



care fara noastră întreține legături comerciale sau efectuează schimburi de produse (URSS, Franța, R.F. Germania, S.U.A. și Japonia) are la bază principiile stabilite prin standardul de recomandare R4400/1-80 și urmărește facilitarea posibilităților de documentare și informare asupra acestor importante familii de oțeluri. Se atrage atenția, totuși, că această corespondență nu este decît aproximativă, avînd în vedere numeroși factori care intervin: condiții de întrebuințare, tratament termic, natura și dimensiunile produsului etc. Din această cauză, este recomandabil ca utilizatorii să consulte specialiștii în alegerea oțelurilor sau institutele de specialitate pentru a obține informațiile suplimentare și complementare de care au nevoie pentru a realiza o alegere rațională.

Tabelul 2.14 reunește toate mărcile de oțel pentru construcții mecanice și indică mărcile corespondente ce se produc în țările mai sus citate.



TABELUL 2.14

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxida-re | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |               |                      |             |
|----------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------|---------------|---------------|----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                        | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN,SEW) | SUA (AISI,ASTM, SAE) | URSS (GOST) |

1. OTELURI PENTRU RECIPIENTE, CAZANE  
SI STRUCTURI MECANO-SUDATE

a) Oțeluri clasice, carbon și slab aliate pentru structuri mecano-sudate

|   |       |   |           |          |   |                       |            |                |
|---|-------|---|-----------|----------|---|-----------------------|------------|----------------|
| 1 | OL 37 | 2 | <u>n</u>  | E 24 - 1 | - | U.St 37.1<br>(1.0065) | -          | St 3           |
|   |       |   | <u>s</u>  |          |   | -                     |            |                |
|   |       |   | k         |          |   | R.St37.1<br>(1.0067)  |            |                |
| 1 | OL 37 | 2 | <u>n</u>  | E 24 - 2 | - | USt 37.2<br>(1.0036)  | A 283grC   | St 3<br>(16 D) |
|   |       |   | <u>s</u>  |          |   | -                     | A 283grD   |                |
|   |       |   | k         |          |   | RSt 37.2<br>(1.0038)  | A 570grC   |                |
| 3 |       | 3 | <u>k</u>  | E 24-3   | - | -                     | A 284 grB  |                |
|   |       |   | <u>kf</u> |          |   | St 37.3<br>(1.0116)   | A 284 grD  |                |
|   |       |   |           |          |   |                       | A 573 gr65 |                |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de oxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |                                      |                   |                                |                  |
|----------|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|
|          |                      |                   |                   | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS)                        | RFG (DIN, SEW)    | SUA (AISI, ASTM, SAE)          | URSS (GOST)      |
|          |                      | 4                 | kf                | E 24-4                                        | -                                    | St 37.3 (1.0116)  | -                              |                  |
| 2        | OL 44                | 2                 | k                 | E 30-2                                        | Clasa 2A SM 50A                      | RSt 46.2 (1.0477) | A 440<br>A 570grE<br>A 709gr50 | -                |
|          |                      | 3                 | k, kf             | E 30-3                                        | Clasa 2B SM 50B                      | St 46.3 (1.0483)  | A 578gr75<br>A 709gr50         | (09G2)           |
|          |                      | 4                 | kf                | E 30-4                                        | Clasa 2C SM 50 C                     | St 46.3 (1.0483)  | A 633grA                       |                  |
| 3        | OL 52                | 2                 | k                 | E 36-2                                        | Clasa 3A SM 50YA                     | -                 | A 440                          | -                |
|          |                      | 3                 | k, kf             | E 36-3                                        | Clasa 3B SM 50YB<br>Clasa 4B SM 33 B | St 52.3 (1.0570)  | A 709                          | (14 GS și 17 GS) |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. de oțel (STAS) | Marca | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |                  |                  |                       |                |
|-------------------------|-------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|------------------|------------------|-----------------------|----------------|
|                         |       |                   |                       | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS)    | RFG (DIN, SEW)   | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST)    |
|                         |       | 4                 | kf                    | E 36-4                                        | Clasa 4C SM 53 C | St 52.3 (1.0570) | -                     | (14GS și 17GS) |

b. Oțeluri pentru structuri mecano-sudate, rezistente la coroziune atmosferică

|   |        |       |    |                                  |                                          |                         |   |
|---|--------|-------|----|----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|---|
| 4 | RCA 37 | 1,2,3 | kf | (E 24 W) CORTEN A <sup>x)</sup>  | WTSt 37.2 (1.8960)<br>WTSt 37.3 (1.8961) | COR-TEN A <sup>x)</sup> | - |
| 5 | RCB 52 | 2,3,4 | kf | (E 36 WB) CORTEN B <sup>x)</sup> | WTSt 52.3 (1.8963)                       | COR-TEN B <sup>x)</sup> | - |

c. Oțeluri sudabile cu limită de curgere ridicată și foarte ridicată (granulație fină) pentru structuri mecano-sudate

|    |        |     |    |   |   |                    |   |   |
|----|--------|-----|----|---|---|--------------------|---|---|
| 6. | OCS 44 | 5,6 | kf | - | - | TT StE 29 (1.0488) | - | - |
|----|--------|-----|----|---|---|--------------------|---|---|

x) Simbolizare United States Steel (S.U.A.)



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxida-re | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                                         |                       |                  |
|----------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|-----------------------|------------------|
|          |                      |                   |                        | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN, SEW)                          | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST)      |
| 7        | OCS 52               | 5, 6, 7           | kf                     | E 355                                         | -             | TT StE 36 (1.0566)                      | A633grC<br>A633grD    | -                |
| 8        | OCS 55               | 3, 4, 5           | kf                     | E 420                                         | -             | TT StE 43 (1.8912)<br>W StE 43 (1.8932) | A572gr6i<br>A633grE   | 16G2AF<br>18G2AF |
| 9        | OCS 58               | 3, 4, 5           | kf                     | E 460                                         | -             | TT StE 47 (1.8915)                      | A572gr65              | 18G2AFps         |
| 10       | OCS 90               | 3, 4, 5           | kf                     | E 690                                         | -             | 11NiMnCrMo55 (1.6919)                   | T1 <sup>x</sup>       |                  |

d. Oțeluri sudabile cu limită de curgere ridicată, prelucrabile prin îndoire la rece, pentru structuri mecano - sudate

|    |      |   |   |         |   |                       |   |   |
|----|------|---|---|---------|---|-----------------------|---|---|
| 11 | L 42 | - | - | E 430 D | - | Q StE 420 TM (1.0590) | - | - |
|----|------|---|---|---------|---|-----------------------|---|---|

x) Simbolizare United States Steel (S.U.A.)



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. ord.                                  | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-oxidare | Marca de oțel corespunzătoare ce se produce în: |                                                            |                                                      |                            |             |
|-------------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------|-------------|
|                                           |                      |                   |                      | Franța (AFNOR)                                  | Japonia (JIS)                                              | RFG (DIN, SEW)                                       | SUA (AISI, ASTM, SAE)      | URSS (GOST) |
| e. Oțeluri pentru recipienti sub presiune |                      |                   |                      |                                                 |                                                            |                                                      |                            |             |
| 12                                        | R 37                 | 3, 4              | k, kf                | A 37 AP                                         | -                                                          | ASt 35(1.0436)<br>TT St 35(1.0356)                   | A422gr55<br>A516gr55       | 12k         |
| 13                                        | R 44                 | 3, 4, 5, 6        | k, kf                | A 48 AP<br>A 48 FP                              | Clasa 2SPV<br>32<br>Tip 2A SLA<br>33A<br>Tip 2B SLA<br>33B | ASt35(1.0436)<br>TTSt41(1.0437)<br>TT StE 29(1.0488) | A516gr70<br>A 300<br>A 593 | -           |
| 14                                        | R 52                 | 3, 4, 5, 6, 7     | k, kf                | A 52 AP<br>A 52 FP                              | Clasa 2SPV36<br>Tip 3 SLA 37                               | ASt 51(1.0577)<br>TT StE 36(1.0566)                  | A612<br>A537cl.1<br>A593   | -           |
| 15                                        | RV 52                | -                 | kf                   | E 355                                           | -                                                          | TT StE 36<br>(1.0566)                                | A633grC<br>A633grD         | -           |



TABELUL 2.14. (continuare)

| Nr. ord.                 | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-oxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                      |                        |                  |
|--------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------------------|---------------|----------------------|------------------------|------------------|
|                          |                      |                   |                      | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN, SEW)       | SUA (AISI, ASTM, SAE)  | URSS (GOST)      |
| 16                       | R 55                 | -                 | kf                   | E 420                                         | -             | TTStE 42             | A572gr60               | 16G2AF<br>18G2AF |
| 17                       | R 58                 | -                 | kf                   | E 460                                         | -             | TTStE 47<br>(1.8915) | A572gr65               | 18G2AFps         |
| 18                       | 09Mn16               | -                 | kf                   | E 30 - 3<br>E 30 - 4                          | -             | -                    | -                      | 09G2             |
| 19                       | 09SiMn16             | -                 | kf                   | -                                             | -             | -                    | -                      | 09G2S            |
| 20                       | 16SiMn10             | -                 | kf                   | -                                             | -             | -                    | -                      | 16SG             |
| 21                       | 10N135               | -                 | kf                   | 12N14                                         | Clasa 31 SCPL | 10N14<br>(1.5637)    | 2317<br>(A203grD+A300) | 12HN4A           |
| f. Oțeluri pentru cazane |                      |                   |                      |                                               |               |                      |                        |                  |
| 22                       | K 41                 | 2                 | k, kf                | A42CP                                         | SB 42         | H II<br>(1.0425)     | A515gr60               | 16 K             |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxida-re | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                   |                       |             |
|----------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------|---------------|-------------------|-----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                        | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN, SEW)    | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 23       | K 47                 | 2                 | k, kf                  | A48CP                                         | SB 46 (SB 49) | 17Mn4 (1.0481)    | A515gr70              | 16GS        |
| 24       | K 52                 | 2                 | k, kf                  | A52CP                                         | -             | 19Mn5 (1.0482)    | - A299                | -           |
| 25       | 16Mo3                | 2, 3              | k                      | 15 D 3                                        | SB 46 M       | 15Mo3 (1.5415)    | A204grA               | -           |
| 26       | 14CrMo4              | 2, 3              | k                      | 15 CD 4.05                                    | -             | 13CrMo44 (1.7335) | A387gr12              | 12HM        |

g. oțeluri rezistente la uzură

|    |        |   |   |        |       |                                      |        |     |
|----|--------|---|---|--------|-------|--------------------------------------|--------|-----|
| 27 | 20Mn10 | - | k | 20 M 5 | SMn21 | 21Mn4<br>1.0469<br>(20Mn6)<br>1.1169 | (1518) | 20G |
|----|--------|---|---|--------|-------|--------------------------------------|--------|-----|



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. ord. de otel | Marca (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-oxidare | Marca de otel corespondentă ce se produce în: |               |                |                       |             |
|------------------|--------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------------------|---------------|----------------|-----------------------|-------------|
|                  |              |                   |                      | Franta (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN, SEW) | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST) |

2. OTELURILE PENTRU ORGANE SI ALTE ELEMENTE  
COMPONENTE DE MASINI

a. Oteluri carbon de uz general

|    |       |   |                       |        |               |                                                  |   |      |
|----|-------|---|-----------------------|--------|---------------|--------------------------------------------------|---|------|
| 28 | OL 32 | 1 | n, s, k               | -      | -             | -                                                | - | -    |
| 29 | OL 34 | 1 | n<br>—<br>s<br>—<br>k | A 34-1 | Clasa 1 SS 34 | USt34.1<br>(1.0055)<br>—<br>RSt34.1.<br>(1.0150) | - | St 2 |
| 30 | OL 42 | 1 | n<br>—<br>s<br>—<br>k | E 26-1 | Clasa 2 SS 41 | USt42.1<br>(1.0075)<br>—<br>RSt42.1<br>(1.0077)  | - | St 4 |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxida-re | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |                      |                                                 |                            |             |
|----------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|-------------|
|          |                      |                   |                        | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS)        | RFG (DIN,SEW)                                   | SUA (AISI,ASTM, SAE)       | URSS (GOST) |
|          |                      | 2                 | n<br>—<br>s<br>—<br>k  | E 26-2                                        | Clasa 1 A<br>SM 41 A | UST42.2<br>(1.0040)<br>—<br>RSt42.2<br>(1.0042) | A36<br>A570grD<br>A709gr36 | St 4        |
|          |                      | 3                 | k,kf                   | E 26-3                                        | Clasa 1 B<br>SM 41 B | St42.3<br>(1.0136)                              | A284grD                    |             |
| 31       | OL 50                | 1                 | k                      | A 50-2                                        | Clasa 3 SS 50        | St50.2<br>(1.0050)                              | -                          | St 5        |
| 32       | OL 70                | 1                 | k                      | A 60-2                                        | -                    | St60.2<br>(1.0060)                              | -                          | St 6        |
| 33       | OL 70                | 1                 | k                      | A 70-2                                        | -                    | St70.2<br>(1.0070)                              | -                          | -           |
| 34       | OL 30                | -                 | -                      | A 33-1<br>(A 33-2)                            | -<br>-               | St33.1<br>(1.0033)<br>St33.2<br>(1.0035)        | -                          | St 0        |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt.                                                       | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-oxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                   |                       |             |
|----------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------------------|---------------|-------------------|-----------------------|-------------|
|                                                                |                      |                   |                      | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN, SEW)    | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| b. <u>Oțeluri carbon de calitate pentru tratamente termice</u> |                      |                   |                      |                                               |               |                   |                       |             |
| 35                                                             | OLC 10<br>(OLC 08)   | -                 | k                    | CC 10                                         | -             | C 10<br>(1.0301)  | 1010                  | -           |
|                                                                |                      |                   |                      | XC 10                                         | S 10 C        | Ck 10<br>(1.1121) | -                     | 10          |
| 36                                                             | OLC 15               | -                 | k                    | -                                             | -             | C 15<br>(1.0401)  | 1015                  | -           |
|                                                                |                      |                   |                      | XC 18                                         | S 15 C        | Ck 15<br>(1.1141) | -                     | 15          |
| 37                                                             | OLC 20               | -                 | k                    | (CC 20)                                       | -             | -                 | 1020                  | -           |
|                                                                |                      |                   |                      | -                                             | S 20 C        | -                 | -                     | 20          |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxida-re | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                |                      |             |
|----------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------|---------------|----------------|----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                        | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN,SEW)  | SUA (AISI,ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 38       | OLC 35               | -                 | k                      | CC 35                                         | -             | C 35 (1.0501)  | 1035                 | -           |
|          |                      | X                 | k                      | (XC 38)                                       | S 35 C        | Ck 35 (1.1181) | -                    | 35          |
| 39       | OLC 38               | X                 | k                      | (XC 38)                                       | (S 35 C)      | (Ck 35) 1.1181 | -                    | (35)        |
| 40       | OLC 38 B             | X                 | k                      | 38 B 3                                        | -             | -              | -                    | -           |
| 41       | OLC 42               | X                 | k                      | XC 42                                         | (S 45 C)      | (Ck 45) 1.1191 | -                    | (45)        |
| 42       | OLC 45               | -                 | k                      | CC 45                                         | -             | C 45 (1.0503)  | 1045                 |             |
|          |                      | X                 |                        | (XC 48)                                       | S 45 C        | Ck 45 (1.1191) | -                    | 45          |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                |                       |             |
|----------|----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|---------------|----------------|-----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                       | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN, SEW) | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 43       | OLC 50               | -                 | k                     | -                                             | -             | -              | 1050                  | -           |
|          |                      | X                 |                       | -                                             | S 50 C        | -              | -                     | -           |
| 44       | OLC 55               | -                 | k                     | -                                             | -             | C 55 (1.053)   | 1055                  | -           |
|          |                      | X                 |                       | XC 55                                         | S 55 C        | Ck 55 (1.1023) | -                     | 55          |
| 45       | OLC 60               | -                 | k                     | -                                             | -             | C 60 (1.0601)  | 1060                  | -           |
|          |                      | X                 |                       | -                                             | S 58 C        | Ck 60 (1.1221) | -                     | 60          |

c. Oțeluri slab aliate și aliate pentru tratamente termice

|    |        |   |   |   |          |   |   |        |
|----|--------|---|---|---|----------|---|---|--------|
| 46 | 35Mn16 | - | k | - | (SMn2H1) | - | - | 35 G 2 |
|----|--------|---|---|---|----------|---|---|--------|



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxidare | Marca de oțel corespunzătoare ce se produce în: |                |                   |                       |             |
|----------|----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                       | Franța (AFNOR)                                  | Japonia (JIS)  | RFG (DIN, SEW)    | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 47       | 40Mn10               | -                 | k                     | 35 M 5                                          | (SMn1)         | 40Mn4 (1.1157)    | (1536)                | 40 G        |
| 48       | 65Mn10               | -                 | k                     | -                                               | -              | 65Mn4 (1.2817)    | -                     | 65 G        |
| 49       | 120Mn120             | -                 | k                     | Z120 M 12                                       | Clasa 1 SCMnH1 | X120Mn12 (1.3401) | J 91.129              | -           |
| 50       | 19MnB2               | -                 | k                     | -                                               | -              | 17MnB3 (1.5506)   | 15B21H                | -           |
| 51       | 20MnB5               | -                 | k                     | 20 MB 5                                         | -              | 20MnB3 (1.5507)   | -                     | -           |
| 52       | 18MnCr10             | -                 | k                     | 16 MC 5                                         | SCr22(H1)      | 16MnCr5 (1.7113)  | (5120)<br>(5120H)     | 18HG        |
| 53       | 26MnSi14             | -                 | k                     | -                                               | -              | -                 | -                     | 25G2S       |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. ord. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxida-re | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |                  |                      |                      |             |
|----------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                        | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS)    | RFG (DIN,SEW)        | SUA (AISI,ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 54       | 35MnSi12             | -                 | k                      | -                                             | -                | 37MnSi5<br>(2.5122)  | -                    | 35G.S       |
| 55       | 15Cr08               | -                 | k                      | -                                             | SCr21(H)         | 15Cr3<br>(1.7015)    | (5115)<br>5117       | 15 H        |
| 56       | 32Cr10               | -                 | k                      | 32 C 4                                        | SCr2             | 32Cr4<br>(1.7033)    | 5132                 | 30 H        |
| 57       | 37Cr10               | -                 | k                      | 38 C 4                                        | SCr3             | 37Cr4<br>(1.7034)    | 5135<br>5135H        | -           |
| 58       | 38Cr05               | -                 | k                      | 38 C 2                                        | -                | 38Cr2<br>(1.7003)    | -                    | -           |
| 59       | 40Cr10               | -                 | k                      | 42 C 4                                        | SCr 4 (H)        | 41Cr4<br>(1.7035)    | 5140                 | 40 H        |
| 60       | 13CrNi30             | -                 | k                      | 14 NC 11                                      | (SNC21)<br>SNC22 | 14NiCr14<br>(1.5752) | -                    | 12HN3A      |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxida-re | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                    |                       |             |
|----------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                        | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN, SEW)     | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 61       | 18CrNi20             | -                 | k                      | 20 NC 6                                       | -             | 18CrNi8 (1.5920)   | -                     | -           |
| 62       | 41CrNi12             | -                 | k                      | 35 NC 6                                       | -             | -                  | (3140)<br>3141        | 40HN        |
| 63       | 40BCr10              | -                 | k                      | -                                             | -             | -                  | -                     | -           |
| 64       | 31VCr06              | -                 | k                      | -                                             | -             | 31CrV3 (1.2208)    | -                     | -           |
| 65       | 50VCr11              | -                 | k                      | (50 CV 4)                                     | SUP 10        | (50CrV4) (1.8159)  | 6145                  | (50 HGFA)   |
| 66       | 12MoCr10             | -                 | k                      | -                                             | -             | -                  | -                     | (15 H)      |
| 67       | 16MoCr10             | -                 | k                      | (18 CD 4)                                     | SCM 22        | -                  | -                     | (15 H)      |
| 68       | 20MoCr10             | -                 | k                      | 18 CD 4                                       | SCM 22H       | (20CrMo5) (1.7264) | -                     | -           |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. ord. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                  |                       |             |
|----------|----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|---------------|------------------|-----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                       | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN, SEW)   | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 69       | 25MoCr10             | -                 | k                     | 25 CD 4                                       | -             | 24CrMo4 (1.7218) | -                     | -           |
| 70       | 27MoCr10             | -                 | k                     | 25 CD 4                                       | -             | -                | (4130)                | -           |
| 71       | 30MoCr10             | -                 | k                     | 30 CD 4                                       | -             | -                | 4130<br>4130H         | -           |
| 72       | 33MoCr11             | -                 | k                     | 35 CD 4                                       | SCM 1         | 34CrMo4 (1.7220) | 4135                  | (35HM)      |
| 73       | 41MoCr11             | -                 | k                     | 42 CD 4                                       | SCM 4 (H)     | 42CrMo4 (1.7225) | 4141H (4142)          | -           |
| 74       | 17MoNi35             | -                 | k                     | -                                             | -             | -                | (4817)<br>4817H       | -           |
| 75       | 20MoNi18             | -                 | k                     | -                                             | -             | -                | X4620                 | -           |
| 76       | 20MoNi35             | -                 | k                     | -                                             | -             | -                | 4820<br>4820H         | -           |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. ord. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxida-re | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |                         |                        |                       |             |
|----------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                        | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS)           | RFG (DIN, SEW)         | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 77       | 21TiMnCr12           | -                 | k                      | -                                             | -                       | -                      | -                     | 18 HGT      |
| 78       | 28TiMnCr12           | -                 | k                      | -                                             | -                       | -                      | -                     | 30 HGT      |
| 79       | 21 MoMnCr12          | -                 | k                      | (18 CD 4)                                     | (CSM 22(H))<br>(SCM 23) | -                      | -                     | -           |
| 80       | 17MoCrNi15           | -                 | k                      | (18 NCD 6)                                    | -                       | 17CrNiMo6<br>(1.6587)  | (4317)                | -           |
| 81       | 18MoCrNi13           | -                 | k                      | 18 NCD 6                                      | -                       | 17CrNiMo6<br>1.6587    | (4317)                | -           |
| 82       | 20MoCrNi06           | -                 | k                      | 20 NCD 2                                      | SNCM 21H                | 21NiCrMo2<br>(1.6523)  | 8620<br>8620H         | -           |
| 83       | 22MoCrNi05           | -                 | k                      | -                                             | -                       | 21NiCrMo22<br>(1.6543) | 8822<br>8822H         | -           |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxida-re | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                                           |                      |             |
|----------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                        | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN,SEW)                             | SUA (AISI,ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 84       | 30MoCrNi20           | -                 | k                      | 30 CND 8                                      | -             | 30CrNiMo8<br>(1.6580)                     | -                    | -           |
| 85       | 34MoCrNi15           | -                 | k                      | (35 CND 6)                                    | -             | 34CrNiMo6<br>(1.6582)                     | -                    | 38H 2N2MA   |
| 86       | 35MoCrNi40           | -                 | k                      | 35 NCD 16                                     | -             | -                                         | -                    | -           |
| 87       | 38MoCrAl09           | -                 | k                      | (40 CAD 6.12)                                 | SACM 1        | 34CrAlMo5<br>1.850<br>41CrAlMo7<br>1.8509 | -                    | 38H 2M1uA   |
| 88       | 34MoNiCrAl09         | -                 | k                      | -                                             | -             | 31CrAlNi7<br>(1.8550)                     | -                    | -           |

88



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt.                                           | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                                  |                                     |             |
|----------------------------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|---------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------|
|                                                    |                      |                   |                       | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN,SEW)                    | SUA (AISI,ASTM, SAE)                | URSS (GOST) |
| 3. OTELURILE PENTRU AMBUTISARE SAU INDOIRE LA RECE |                      |                   |                       |                                               |               |                                  |                                     |             |
| 89                                                 | A 21 <sup>x)</sup>   | -                 | k                     | -                                             | -             | EH 21 <sup>xx)</sup><br>(1.0343) | -                                   | -           |
| 90                                                 | A 1                  | -                 | n,k <sup>xxx)</sup>   | TC                                            | clasa 1 SPCC  | St.12<br>(1.0330)                | A366<br>1012                        | B (08kp)    |
| 91                                                 | A 2                  | -                 | n,k <sup>xxx)</sup>   | E                                             | clasa 2 SPCD  | St.13<br>(1.0333)                | A619<br>1008                        | CB (08 ps)  |
| 92                                                 | A 3                  | -                 | n,k <sup>xxx)</sup>   | (ES)                                          | clasa 3SPCEN  | St.14<br>(1.0338)                | A.620<br>1006 calmat<br>1008 calmat | OCB(08ju)   |

x) - Marcă de oțel destinată executării de elemente de construcții ce se emaillează

xx) - Simbolizare "Rhein Stahl Hüttenwerke" (RFG)

xxx) - Călmarea mărcilor de oțel respective este efectuată cu aluminiu



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                   |                                 |             |
|----------|----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|---------------|-------------------|---------------------------------|-------------|
|          |                      |                   |                       | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN, SEW)    | SUA (AISI, ASTM, SAE)           | URSS (GOST) |
| 93       | A 3 Ck               | -                 | n, k <sup>x)</sup>    | 3 C                                           | Clasa 3 SPHE  | StW24 (1.0335)    | A622 1008 calmat                | 08kp        |
| 94       | A 4                  | -                 | n                     | E                                             | Clasa 2 SPCD  | St.13 (1.033)     | A619 1008                       | CB(08ps)    |
| 95       | A 5                  | -                 | n, k <sup>x)</sup>    | E S                                           | Clasa 3 SPHE  | St.14 (1.0338)    | A620 1006 calmat<br>1008 calmat | 08kp        |
| 96       | A 5-E                | -                 | k <sup>x)</sup>       | -                                             | -             | (St. 24) (1.0327) | 1005 calmat                     | -           |

## 4. OTELURILE PENTRU ARCURI

|    |          |   |   |       |   |                               |      |   |
|----|----------|---|---|-------|---|-------------------------------|------|---|
| 97 | OLC 55 A | - | k | X C55 | - | Ck55 (1.1203)<br>C55 (1.0535) | 1055 | - |
|----|----------|---|---|-------|---|-------------------------------|------|---|

x) Calmarea acestor oțeluri se face, de regulă, cu aluminiu



x) Călmarea acestor oțeluri se face, de regulă, cu aluminiu

TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-zoxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                                           |                      |             |
|----------|----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                       | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN,SEW)                             | SUA (AISI,ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 98       | OLC 65 A             | -                 | k                     | XC 65                                         | -             | (Ck 67)<br>(1.1231)<br>(C 67)<br>(1.0603) | 1065                 | 65          |
| 99       | OLC 75 A             | -                 | k                     | -                                             | -             | (Ck 75)<br>(1.1248)<br>(C 75)<br>(1.0605) | 1074                 | 75          |
| 100      | OLC 85 A             | -                 | k                     | -                                             | SUP 3)        | (Ck 85)<br>(1.1269)                       | 1084                 | 85          |
| 101      | 40Si17 A             | -                 | k                     | (45 S 7)                                      | -             | -                                         | -                    | -           |
| 102      | 51Si17 A             | -                 | k                     | 51 S 7                                        | -             | 51Si7<br>(1.0903)                         | -                    | 50 S 2      |
| 103      | 56Si17 A             | -                 | k                     | 55 S 7                                        | -             | 55Si7<br>(1.0904)                         | 9255                 | 55 S 2      |



TABELUL 2.14 (containere)

| Nr. crt. | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-oxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                    |                       |             |
|----------|----------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------------|-------------|
|          |                      |                   |                      | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN, SEW)     | SUA (AISI, ASTM, SAE) | URSS (GOST) |
| 104      | 60Si15 A             | -                 | -                    | -                                             | SUP 6         | -                  | 926OH                 | 60 S 2      |
| 105      | X                    | -                 | k                    | 61 SC 7                                       | -             | 60SiCr7 (1.0961)   | -                     | (60S2HA)    |
| 106      | 51VCr11 A            | -                 | k                    | 50 CV 4                                       | SUP 10        | 50CrV4 (1.8159)    | 6150                  | 50HGFA      |
| 107      | 67CrSi12 A           | -                 | k                    | (61 SC 7)                                     | -             | 67SiCr5 (1.7103)   | -                     | -           |
| 108      | 65Si2W A             | -                 | k                    | -                                             | -             | -                  | -                     | 65 S2WA     |
| 109      | 60CrMnSi12 A         | -                 | k                    | (61 SC 7)                                     | -             | (60SiCr7) (1.0961) | -                     | -           |



TABELUL 2.14 (continuare)

| Nr. crt.                     | Marca de oțel (STAS) | Clasa de calitate | Gradul de de-oxidare | Marca de oțel corespondentă ce se produce în: |               |                        |                      |                     |
|------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------|---------------------|
|                              |                      |                   |                      | Franța (AFNOR)                                | Japonia (JIS) | RFG (DIN,SEW)          | SUA (AISI,ASTM, SAE) | URSS (GOST)         |
| 5. OTELURILE PENTRU RULMENTI |                      |                   |                      |                                               |               |                        |                      |                     |
| 110                          | 13CrNi35             | -                 | k                    | 16 NCD 13                                     | (SNC 22H)     | (14NiCr14)<br>(1.5752) | 3310                 | -                   |
| 111                          | 20MoCr05             | -                 | k                    | (20 NCD 2)                                    | (SCM 22H)     | (20CrMo2)<br>(1.7311)  | 4118                 | -                   |
| 112                          | 55SiMo               | -                 | k                    | -                                             | -             | -                      | (4053H)              | -                   |
| 113                          | RUL 1                | -                 | k                    | 100 C 6                                       | SUJ 2         | 100Cr6<br>(1.3505)     | E 52100              | SH 15<br>(SH 15-SD) |
| 114                          | RUL 2                | -                 | k                    | -                                             | SUJ 3)        | 100CrMn6<br>(1.3520)   | -                    | SH 15 SG            |
| 115                          | RUL 3 V              | -                 | k                    | (100 CD 7)                                    | -             | (100CrMo6)<br>(1.3520) | -                    | -                   |



## CAPITOLUL 3

### DISTRUGEREA PIESELOR MECANICE PRIN OBOSEALA

#### 3.1. Considerații generale

Practica industrială demonstrează că ruperea pieselor de mașini - în condiții normale de funcționare - se datorează, cel mai adesea, fenomenului de oboseală. Acest fenomen este periculos prin efectele surprinzătoare pe care le cauzează, ca urmare a caracterului său progresiv, mascat. Prin aceasta, oboseala se deosebește fundamental de celelalte fenomene care produc scoaterea din serviciu a unor piese de mașini:

- prin uzură, în care caz efectele se fac simțite progresiv;
- prin deformații permanente sub acțiunea unor suprasarcini accidentale.

În ceea ce privește ruperea fragilă, exceptând părțile mecano-sudate, ea a devenit foarte rară în construcția de mașini, unde majoritatea pieselor sînt executate din oțeluri carbon de calitate sau aliațe, tratate termic. deci de reziliență suficientă.

Cercetînd fenomenul de oboseală, inginerii mecanici și metalurgiști au trebuit să experimenteze piesele rupte în serviciu, examinînd - în primul rînd - suprafețele de rupere, pentru ca după aspectul acestora să poată stabili mecanismul ruperii prin oboseală și să caute să evite repetarea unor incidente similare.

Fractografia constă, deci, în recunoașterea - mai întîi a tipurilor de rupere: tenace (ductilă), fragilă sau prin oboseală, apoi, în acest ultim caz, în stabilirea punctului de inițiere a fisurii, a zonei în care procesul se propagă mai mult sau mai puțin lent și a zonei de rupere finală, care se produce brutal. În cadrul acestui examen, se urmărește deducerea modului de repartizare a tensiunilor în funcție de forma și de tipul solicitării mecanice a piesei, precum și a raporturilor existente între amorsarea fisurării și existența unui defect în materialul din care este confecționată piesa. Acesta poate fi unic izolat sau rezultat dintr-o repartiție statistică; el poate fi extern și microgeometric sau intern și structural.

În felul acesta, examinarea rupturilor conduce la diagnosticarea modului de rupere, care este apoi pusă în valoare prin stabilirea



posibilităților de a evita sau remedia rupturi similare.

În tabelul 3.1 s-a schițat - cu caracter de exemplu, nemitativ - o clasificare a principalelor cauze ale ruperii prin oboseală în funcție de condițiile de lucru ale piesei rupte, din care rezultă - fără dificultăți - remediul de aplicat. Deseori, dealtfel, ruperea se datorează simultaneității mai multor cauze, din care nici una luată singular nu este determinantă. Avînd în vedere că aceste cauze nu sînt incompatibile și ținînd seama de caracterul aleatoriu al acestor fenomene complexe, o mai bună probabilitate în direcția evitării unor accidente similare se obține cînd se acționează simultan asupra diferiților parametri, recunoscîți ca responsabili.

TABELUL 3.1

| Condițiile în care se produce ruperea | Cauzele ruperii, modalități de evitare sau remediere                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eforturi normale, forme corecte       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- piese subdimensionate;</li> <li>- metal prea moale, reziliență și rezistență la oboseală insuficientă;</li> <li>- metal prea dur și fragil; adaptare insuficientă la condițiile de lucru.</li> </ul>                                                                      |
| Eforturi anormale                     | - trebuie modificată funcționarea organică a piesei în cadrul ansamblului mașinii (joc anormal, echilibraj defectuos, ghidaj necorespunzător, axe imobilizate, strîngeri excesive la montaj etc.).                                                                                                                 |
| Concentrări de tensiuni               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- trebuie atenuat efectul de încreștere prin raze mai mari de curbură sau prin degajare potrivită de material;</li> <li>- este necesară pretensionarea piesei prin compresiune superficială biaxială (plană) sau eventual prin încovoiere sau răsucire plastică.</li> </ul> |
| Oboseala prin coroziune               | - se izolează piesa de contactul cu mediul agresiv (cînd este posibil);                                                                                                                                                                                                                                            |



TABELUL 3.1 (continuare)

| Condiții în care se produce ruperea | Cauzele ruperii, modalități de evitare sau remediere                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- suprafața plesii se acoperă metalic prin zincare, cromare etc.;</li> <li>- se pretensionează suprafața plesii prin nitrurare.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Defecte externe                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- defect de forjare sau laminare;</li> <li>- rugozitate prea mare a suprafeței;</li> <li>- amprente sau alte impresiuni pe suprafață;</li> <li>- urme lăsate de scula aşchietoare (prost orientată);</li> <li>- fisuri de rectificare;</li> <li>- crăpături de călire.</li> </ul>                                                                                                                                            |
| Defecte interne                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- decarburări sau oxidări;</li> <li>- tensiuni reziduale superficiale datorate tragerii, rectificării, sudării, tratamentului local, dresării etc;</li> <li>- fibraj greşit orientat şi prea accentuat;</li> <li>- incluziuni nemetalice sau segregatii;</li> <li>- supraîncălziri, arderi, granulație grosolană;</li> <li>- precipitări intercristaline;</li> <li>- fulgi, fisuri interne, retasuri sau sufluri.</li> </ul> |

În unele cazuri, pentru a stabili un diagnostic sigur sau pentru a stabili cantitativ soluția, este necesar să se recurgă la un studiu elasticimetric sau la încercări de durată pe epruvete sau chiar pe piese. În acest ultim caz, condițiile de încercare se stabilesc astfel încât ruperea să se producă în același loc și cu aceleași fațete de rupere.

Din această cauză, este necesar să se dispună de un album de cazuri (suprafețe de rupere) cât mai bogat, deoarece, exceptând cazul



rile tipice simple, ruperile prin oboseală sînt foarte complexe și cercetătorul, aflat în fața unui caz cu care nu s-a mai întîlnit, întîmpină dificultăți în acțiunea sa de interpretare, diagnosticare și stabilire a remediilor posibile. Un astfel de album trebuie, deci, la prima vedere, să colecționeze o varietate cît mai mare de cazuri, diferențiate prin natura materialelor, procedee de elaborare, operații de prelucrare și montare, ca și prin funcționalitatea pieselor, fiecare intervenind prin forma și modul său de solicitare, prin condițiile ambiante de temperatură sau umiditate etc., în așa fel încît, pentru fiecare caz studiat, să se poată găsi un exemplu asemănător.

În aceste condiții, un astfel de album, deși foarte voluminos și costisitor, va fi totuși relativ incomplet, deoarece nu va reuși să cuprindă toate cazurile posibile în practică. De aceea, este poate mai util și mai rațional un album mai redus, care să clasifice cazurile pe care le cuprinde și să prezinte organizat concluziile analizelor efectuate; în orice caz, fără organizarea unui album corespunzător asupra ruperilor întîlnite în practică, fenomenul de oboseală nu poate fi combătut eficient.

În acest capitol, se vor prezenta principalele elemente necesare pentru examinarea aspectului rupturilor, precum și principalele tehnici de examinare, cu scopul de a pune la îndemîna proiectanților și a celor ce exploatează mașinile, utilajele și instalațiile, mijloacele prin care să poată evalua cauzele și condițiile în care s-au produs în practica industrială ruperi de piese în serviciu.

### 3.2. Aspectul rupturilor prin oboseală, în funcție de natura tensiunilor, forma pieselor și condițiile exterioare

În cadrul acestui subcapitol se urmărește ca, cu ajutorul cîtorva scheme simple, să se descrie aspectul rupturilor prin oboseală în cazurile cele mai tipice. În practică, acest aspect poate fi mult mai complex și interpretarea lor mai dificilă.

#### 3.2.1. Aspectul general al rupturilor prin oboseală

Numeroase observații, făcute pe epruvete de încercare și pe piese rupte în serviciu, au permis să se recunoască "două zone distincte" pe suprafețele de rupere prin oboseală:

- o zonă netedă și lustruită, care constituie ruptura propriu-zisă prin oboseală, caracterizată prin grăunți fini și adesea printr-un aspect mătăsos;

- o zonă grăunțoasă sau fibroasă - după cum metalul este



mai mult sau mai puțin fragil, care constituie rupătura finală, instan - tane.

Extinderea relativă a fiecărei zone pe întreaga suprafață de rupere depinde de mai mulți factori ca: natura metalului, efectul de în - creștere, temperatură, coroziune, variația solicitării etc.;

În toate cazurile, originea rupturii poate fi stabilită prin analizarea atentă a acestor două zone. În plus, în cazul rupei piese - lor în serviciu, se observă o serie de linii concentrice, denumite "li - nii de oprire" sau "linii frontale", care marchează fronturile succesive ale propagării fisurilor de oboseală și care pot fi corelate cu opri - rile sau variațiile de regim. Linii de oprire nu se observă în cazul încercărilor de laborator, în cadrul cărora solicitarea este aplicată, fără întrerupere, cu o amplitudine constantă. Ele dispar și în serviciu, când tensiunea aplicată depășește cu mult limita de duranță.

Locul din care pleacă aceste linii sau amorse se situează, de regulă, la suprafață, în dreptul unei schimbări de secțiune sau al unui defect superficial, în absența oricărui alt defect metalurgic intern.

Pot exista mai multe amorse. În acest caz, racordarea din - tre diferitele fisuri face să apară fie desprinderi de material, fie sim - ple "linii radiale" a căror înălțime scade în sensul propagării fisurii (fig. 3.1a). În cazul unei singure amorse, înălțimea crescând în sensul propagării, se produce modificarea progresivă a tensiunilor, curbând ru - perea și determinând formarea fațetelor (fig. 3.1b).

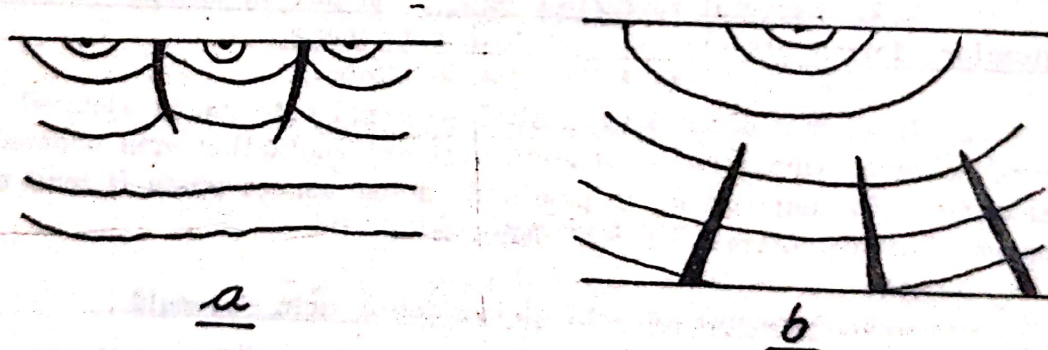


Fig. 3.1. Formarea liniilor radiale sau a desprinderilor de material

- a) în cazul mai multor amorse;
- b) prin curbarea planului fisurii, ca urmare a modificării progresive a tensiunilor.



### 3.2.2. Aspectul rupturilor prin oboseală, în funcție de natura eforturilor

Dacă materialul poate fi considerat drept omogen, poziția și orientarea amorselor se definesc după modul de solicitare exercitat și - de regulă - după cum s-a mai arătat, ruptura pornește de la suprafață.

Orice discordanță între aspectele teoretice și cele reale ale rupturilor evidențiază, prin urmare, un defect de omogenitate a materialului.

#### 3.2.2.1. Rupturi la eforturi axiale

Acest mod de rupere este întâlnit rar în comparație cu cel datorat încovierii sau răsucirii, aceste ultime solicitări intervenind aproape întotdeauna, chiar în cazurile în care piesele lucrează, în principiu, la tracțiune-compresiune.

Cu excepția cazurilor în care există un defect important, ruperea se amorsează la suprafață, datorită concentrărilor de tensiuni, care provin fie din forma plesel, fie din neregularitățile superficiale ce rezultă din procedeele de uzinare.

#### 3.2.2.2. Rupturi la încovoiere plană

În cazul unei epruvete cu secțiune circulară la care solicitarea se exercită într-un plan definit și totdeauna în același sens (în-covoiere unilaterală sau repetată), ruperea se amorsează pe fibra exterioară cea mai întinsă, în zona A, și se dezvoltă în arc de cerc cu o curbura ce crește pe măsură ce ruperea progresează, până ce devine aproape o dreaptă pe fibra neutră (fig. 3.2a).

În cazul încovierii bilaterale, la care solicitarea se produce mai întâi într-un sens, apoi în sensul opus, dar în același plan (încovoiere alternantă), ruperea se amorsează simultan de fiecare parte, în punctele A și B, în așa fel încât ruperea finală ocupă o poziție centrală în secțiunea de rupere și are forma unui menisc concav (fig. 3.2b). Dacă solicitarea alternantă nu are aceeași valoare în fiecare sens, meniscul este excentric.

În cazul epruvetelor cu secțiune rectangulară, aspectul ruperii este similar, cu deosebirea că liniile de oprire circulare devin elipse.



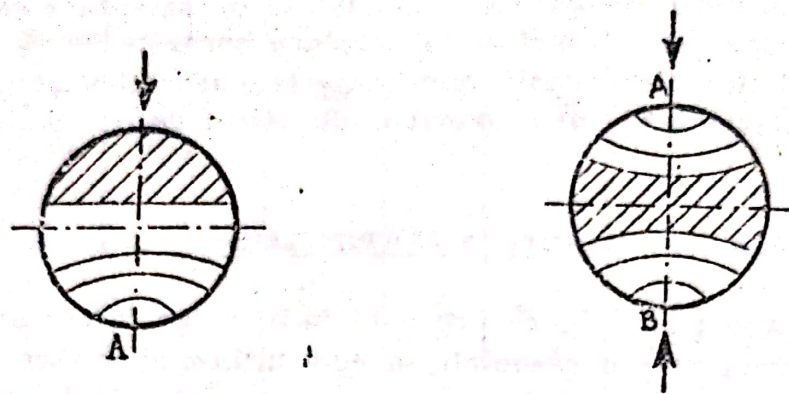


Fig. 3.2. Reprezentarea schematică a aspectului rupturilor prin oboseală la încovoiere

- a) încovoiere repetată (unilaterală): ruperea se amorsează în punctul A unde tensiunea de întindere este maximă;
- b) încovoiere alternantă (bilaterală): ruperea se amorsează în punctele A și B.

### 3.2.2.3. Rupturi la încovoiere rotativă

Fisura se amorsează într-un punct de la suprafață, dacă aceasta este netedă. Propagarea fisurii se produce după o serie de arcuri eliptice, care au ca punct de plecare o nouă elipsă al cărei centru se situează la suprafață.

Axa unică a acestor elipse se înclină progresiv pe măsură ce arcul se mărește. Curbura arcului schimbă de sens după ce a luat poziția unei drepte înclinate, care trece prin centrul secțiunii (fig. 3.3 ).

Cînd secțiunea prezintă o creștătură circulară, amorsarea ruperii prin oboseală se produce în fundul creștăturii, pe toată circumferința, pentru a lăsa o zonă de rupere finală către centrul secțiunii dacă solicitarea este puternică și excentrică, dacă solicitarea este redusă (fig. 3.4 ).



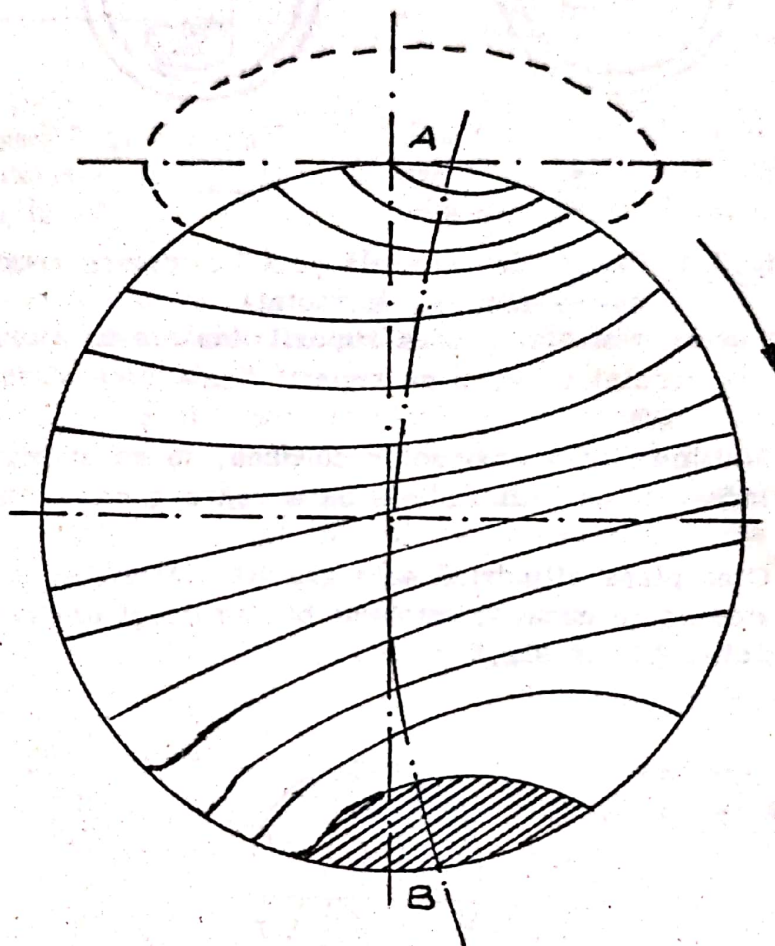


Fig.3.3. Propagarea rupei prin oboseală la încovoiere rotativă (A-amorsa, B - ruperea finală)



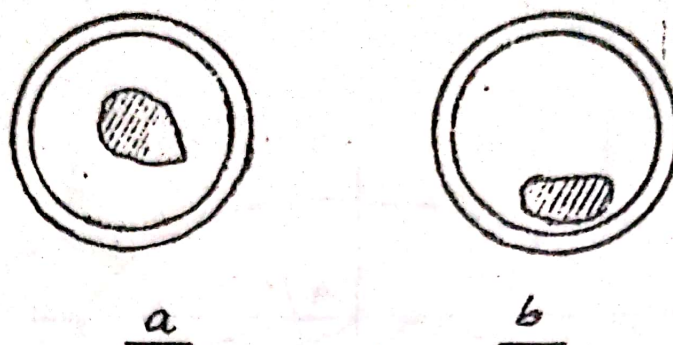


Fig. 3.4. Casuri de oboseală prin încovoiere rotativă  
într-o secțiune încrestată  
a) la sarcini mari, zona rupei finale este situată central;  
b) la sarcini mici, zona rupei finale este situată excentric.

Multiplicitatea amorselor conduce, în acest caz, la prezența de desprinderi și de linii radiale care converg către zona de rupe finală.

Cînd piesa cilindrică este găurită diametral, casura are același caracter ca în cazul încovierii bilaterale și amorsarea se produce la orificiile găurii (fig. 3.5).

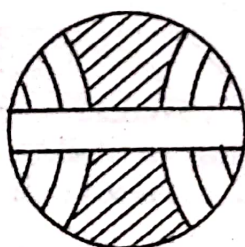


Fig. 3.5. Rupere prin oboseală la încovoiere rotativă, într-o secțiune găurită diametral

#### 3.2.2.4. Rupturi la răsucire

Rupturile prin răsucire-alternantă sau repetată - sînt sub formă de elice, înclinată la  $45^{\circ}$  față de axa piesei (fig. 3.6),



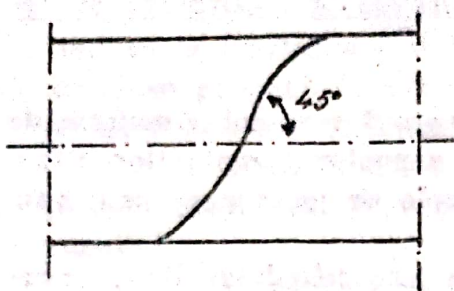


Fig. 3.6. Casură de oboseală prin răsucire la o bară cilindrică; elice la  $45^{\circ}$

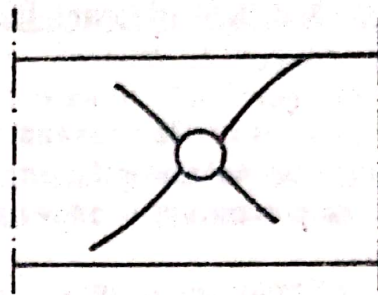


Fig. 3.7. Casură de oboseală prin răsucire la o bară cilindrică găurită diametral; elice la  $45^{\circ}$

cu excepția cazurilor în care un defect longitudinal sau o anizotropie de structură introduce un element central, longitudinal, între două ramuri ale elicei.

Pentru un fir, care prezintă un defect superficial, sau pentru un ax, găurit transversal, ruptura pleacă din acest defect sau de la orificiul găurii, la  $45^{\circ}$ . Adesea se observă amorse de rupere într-una sau alta din cele două direcții înclinate la  $45^{\circ}$  față de axa firului sau a axului (fig. 3.7).

Când arborele este încrestat circular sau prezintă un guler sau un umăr, suprafața rupturii are o direcție - de ansamblu - perpendiculară pe axa arborelui, dar se observă pe această suprafață fețele radiale, înclinate la  $45^{\circ}$ .

În cazul canelurilor longitudinale, casura este, de asemenea, radială și are aspectul caracteristic unei freze care lucrează în capăt (fig. 3.8).

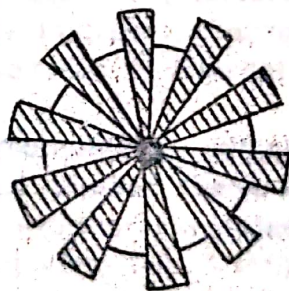


Fig. 3.8. Casură de oboseală prin răsucire la un arbore canelat (zonele hașurate corespund fațetelor radiale care au aceeași orientare)



### 3.2.2.5. Rupturi la sollicitări compuse de încovoiere și răsucire

În cazurile în care axe netede suportă tensiuni simultane de răsucire și încovoiere (sollicitare compusă), caracterul rupturilor diferă, după cum tensiunile predominante sînt cele de încovoiere sau de răsucire.

Dacă, de exemplu, este vorba de axe cilindrice lise, casura, care în cazul răsucirii simple este la  $45^\circ$ , tinde către normala la axă pe măsură ce tensiunea de încovoiere crește.

Lucrurile se petrec analog și în cazul arborilor găuriți diametral.

### 3.2.2.6. Fisuri interne la compresiune repetată pe două suprafețe în contact

În cazul contactului elastic de tip Hertz, cele trei tensiuni principale sînt de compresiune. Tensiunea tangențială este maximă la o anumită distanță de suprafața de contact; în acest punct se amorsează fisura de oboseală. Aceasta poate da loc unei ciupituri sau la o exfoliere, fenomen cunoscut sub denumirea de "pitting".

Cînd cele două suprafețe în contact se deplasează una față de alta, fisura de oboseală apare pe suprafața piesei care se deplasează cu viteza cea mai mică.

### 3.2.3. Aspectul rupturilor prin oboseală, în funcție de condițiile exterioare

La temperaturi ridicate, în cazul în care peste tensiunile variabile de oboseală se suprapun tensiuni statice de întindere, intervin fenomene de scurgere vîscoasă și ruperea finală poate fi de tip cupă, cu gîtule.

Dacă există coroziune, plesile prezintă la suprafață fisuri multiple și casura comportă fisuri radiale, triangulare, al căror unghi către centru este foarte ascuțit.

### 3.2.4. Fisurile de oboseală

#### 3.2.4.1. Direcția de propagare

Observarea plesilor rupte, completată de încercări cores-punzătoare de fotoelasticimetrie, demonstrează că fisurile de oboseală au o direcție ortogonală față de liniile de forță.



La piesele ce prezintă o schimbare bruscă de secțiune, solicitate la tracțiune sau încovoiere, se constată că ruperea prin oboseală se propagă în partea puternică a piesei, deoarece repartitia tensiunilor are loc conform schemei din figura 3.9.

Cînd fisura s-a amorsat, cîmpul primitiv al liniilor de forță este modificat, fără ca direcția generală a fisurii să se schimbe sensibil.

În cazul unui arbore canelat, efectul reciproc se exercită de o parte și de alta a flectării fisuri, într-o manieră care face ca toate fisurile să fie dirijate către centrul arborelui (fig.3.10).

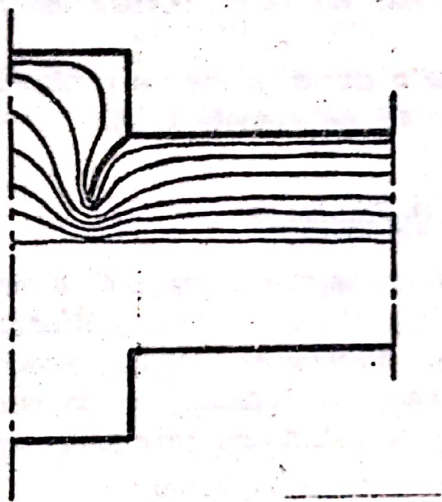


Fig.3.9. Rupere prin oboseală la tracțiune sau încovoiere în cazul unei piese cilindrice ce prezintă o schimbare de secțiune

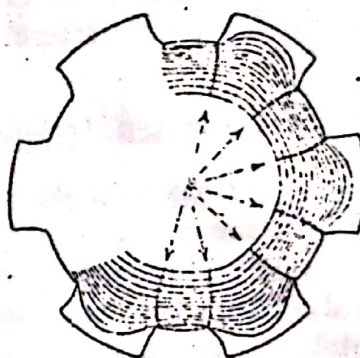


Fig.3.10. Traseul fisurilor de oboseală într-un arbore canelat, după Oschatz

La arborii solicitați la răsucire și care comportă o renură longitudinală cu un unghi la fund viu de o parte și rotunjit de cealaltă, fisura se amorsează în unghiul viu și este ortogonală la liniile de forță, fiind dirijată către centru (fig.3.11a).

Dacă renura comportă două unghiuri vii, fisurile se amorsează în ambele părți deodată, dar nu mai sînt ortogonale la liniile de forță. În acest caz, datorită perturbării reciproce, fisurile tind să se îndepărteze de centru (fig.3.11b).



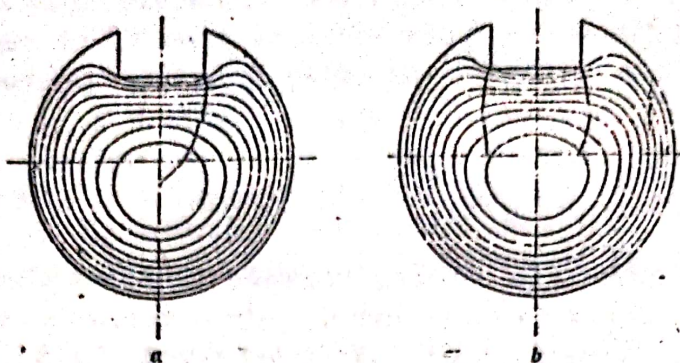


Fig. 3.11. Traseul fisurii de oboseală într-un ax cu renură longitudinală după Oschatz

- a) baza renurei rotunjită pe o parte și vie pe cealaltă;
- b) baza renurei cu unghiuri vii pe ambele părți

#### 3.2.4.2. Pragul și viteza de fisurare

Numeroasele experiențe de măsurare a lungimii aparente a fisurii la suprafața piesei sau epruvetei, prin utilizarea diferitelor metode (lacuri penetrante, magnetografie, micrografie etc.), arată că viteza de fisurare crește în raport cu valoarea tensiunii și cu numărul de cicluri, în cazul în care condițiile de solicitare corespund amorsării unei fisuri de oboseală.

Pragul de apariție al fisurii - la examenul vizual sau cu ajutorul unei lupe binoculare - depinde de aceste condiții și, de asemenea, de natura metalului, efectul de creștătură, temperatură etc. Ca urmare a diverselor observații făcute pe epruvete lise, fisurarea devine vizibilă pentru un număr de cicluri care vizează între 50 și 80% din numărul total de cicluri care provoacă ruperea. Pentru epruvete încrestate, apariția fisurii poate avea loc cu mult mai repede, la 30% din acest număr. Este de menționat că aceste observații sînt valabile pentru epruvete sau piese a căror deformare nu este limitată. În cazul arborilor sprijiniți pe lagăre rigide, viteza de propagare a fisurii poate fi mai redusă.

Actualmente, se admite că după o perioadă de creștere în care viteza de fisurare este proporțională cu puterea 1 sau  $3/2$  a lungimii fisurii, aceasta atinge un stadiu de dezvoltare a vitezei de propagare constantă și redusă. Ruperea apare după un al treilea stadiu, în care o fisură se dezvoltă într-o manieră accelerată pînă la ruperea finală, care se produce brutal.



### 3.2.4.3. Aspectul micrografic al fisurilor de oboseală

Observările micrografice pe secțiuni polirate arată că, de obicei, fisurile iau naștere în apropierea defectelor fizice interne și, între altele, a incluziunilor nemetalice. Ele înaintează în direcția liniilor de cea mai mică rezistență a metalului și, foarte adesea, de la o incluziune la alta.

După un atac care pune în evidență limitele grăunților, apare că, la temperatura normală, traiectul fisurilor este transcrystalin pentru oțeluri (feritice sau austenitice), aliaje de aluminiu și aliaje de cupru. Pentru plumb și zinc, fisurile de oboseală sînt, din contră, intercrystaline.

La cald, pentru oțeluri se observă că fisurarea este transcrystalină pînă la o anumită temperatură și intercrystalină peste această temperatură-prag, ca urmare a apariției fenomenului de fluaj.

### 3.3. Tehnica examinării rupturilor prin oboseală

Suprafețele de rupere reprezintă adevărate diagrame, care înregistrează fenomenele ce au produs ruperea. Analiza lor morfologică își propune să descifreze aceste fenomene, cu scopul de a reconstitui procesul de rupere implicat, în fiecare caz, și de a evidenția diverșii factori care intervin, precizînd importanța fiecăruia.

Pentru ruperile prin oboseală, analiza morfologică se bazează - în mod esențial - pe aspectele caracteristice ale suprafeței acestor rupturi și, în mod subsidiar numai, pe alte aspecte caracteristice, cum ar fi, de exemplu, profilul piesei. Într-adevăr nu este excepțional faptul că apariția unei astfel de rupeți corespunde conjuncției locale a factorilor favorabili acestei apariții, unui de natură metalurgică, alții de natură geometrică, conjuncție care de altfel nu se regăsește în piesă. Rezultă că un scop esențial, deși nu singurul, al analizei morfologice îl constituie determinarea punctului de plecare sau amorsa procesului de fisurare. Or, este o regulă generală că această determinare se face cu cea mai mare siguranță prin studierea suprafeței de rupere.

Tehnica întrebuintată pentru observarea rupturilor trebuie să permită această examinare, chiar dacă ruperea nu este franșe, divizînd piesa în fragmente distincte; altfel spus, ea va comporta sistematic deschiderea fisurilor. Dar înainte de a ajunge la acest stadiu, tehnica utilizată, va trebui, mai întîi, să asigure ca nici una din rupturile formate să nu scape examinării, ceea ce implică - pe de o parte -



ca toate aceste rupturi să fie efectiv decelate, iar - pe de altă parte - ca nici una din ele să nu fie dintr-o întâmplare neplăcută sustrasă examenului. În concluzie, este necesar să se dispună de o bună tehnică de detecție și de o bună tehnică de prelevare.

### 3.3.1. Detectarea

Pentru rupturile franșe, care separă piesa ruptă în fragmente distincte, nu există probleme de detectare; astfel de probleme apar numai în cazul fisurilor nedeschise.

#### 3.3.1.1. Fisuri interne

Acest tip de fisură nu deșează la exterior sau deșează într-o regiune neaccesibilă a suprafeței. În aceste cazuri, detecția este evident dificilă, ea depinzând strâns de natura piesei fisurate.

Printre încercările nedestructive clasice, radiografia este, de regulă, neputincioasă în astfel de cazuri, dar diverse metode electrice care utilizează curenții Foucault, de exemplu, și - mai ales - explorarea cu ultrasunete (fig. 3.12) constituie mijloace de cercetare foarte utile.

Prezența unei fisuri poate, de asemenea, să se traducă printr-o modificare decelabilă a rigidității sau a distribuirii tensiunilor în piesă.

De exemplu, pierderea rigidității, care corespunde apariției unei fisuri la extremitatea unei epruvete de tracțiune ciclică, fie în cazul unei epruvete plate prinse în bacuri, fie al unei epruvete cilindrice filetate, tinde să dezvolte în mașina de încercat vibrații transversale, uneori atât de importante încât funcționarea ei devine imposibilă.

În același timp, distribuția tensiunilor în secțiunea epruvetei devine eterogenă și, dacă fisura este destul de dezvoltată, relevee extensometrice sumare - sub sarcini statice - sînt suficiente pentru a le releva.



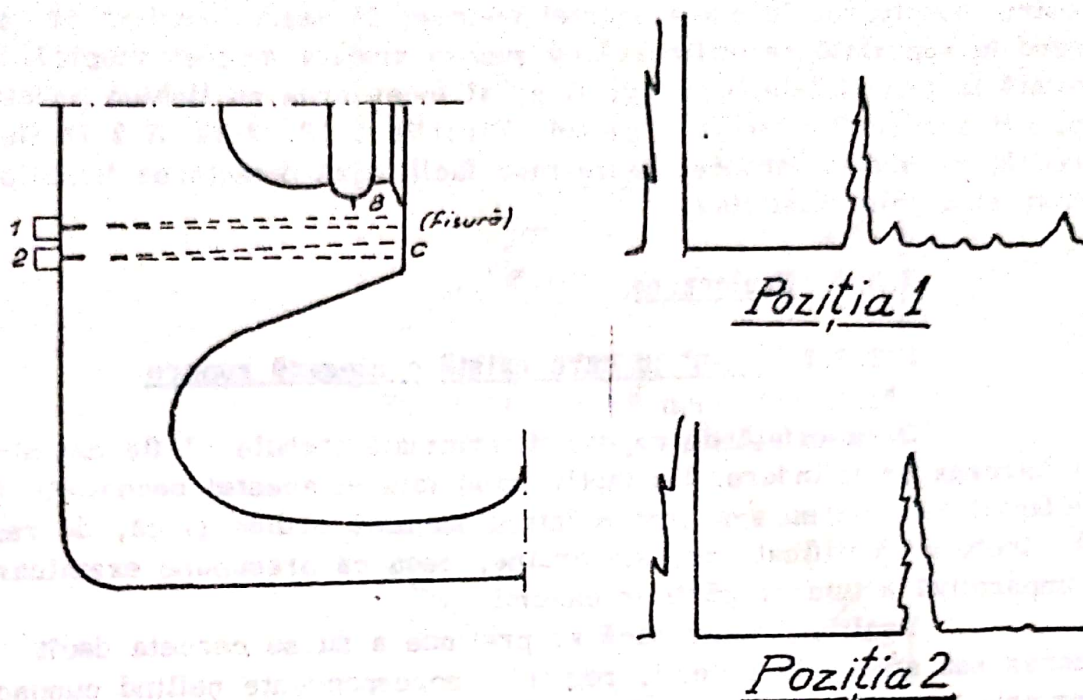


Fig. 3.12. Explorarea prin ecou cu ultrasunete în incidență normală pentru studierea unei fisuri de oboseală într-o plesă forjată (fund de piston) al cărei interior este normal inaccesibil. Plecarea fascicului de unde este marcat în diagramă printr-un vîrf net. În poziția 2, ecoul de fund pe fața opusă C a pielei este foarte intens. În poziția 1, el este atenuat și precedat de ecoul mai important care corespunde fisurii B.

### 3.3.1.2. Fisuri care ies la suprafață

În cazul în care fisurile ies la suprafață într-o regiune accesibilă, metodele precedente de cercetare sînt completate de alte numeroase metode.

Cea mai simplă constă în examinarea cu ochiul liber sau cu lupa și este deosebit de eficace după o pregătire îngrijită a suprafeței, care poate consta într-un atac chimic sau - mai ales - într-o polizare electrolitică.

Cînd suprafețele de examinat nu sînt plane, ansamblul fisurilor de care ele sînt afectate sînt mai sigur decelate prin luarea unor



replici nitrocelulozice de înaltă fidelitate, care se pot monta în plan pentru examinare. În afara acestei metode, în cazul fisurilor ce pătrund la suprafață se utilizează cu succes analiza magnetoscopică, limitată la materialele feromagnetice, și încercarea cu lichide penetrante, oricare ar fi materialul plesii. Figurile 3.13, 3.14 și 3.15 ilustrează, pe același arbore, în ce mod facilitează detectarea fisurilor chiar și a celor mai fine.

### 3.3.2. Prelevarea

#### 3.3.2.1. Cazul în care există o singură rupere

O suprafață de rupere determinată trebuie să fie examinată în întreaga sa întindere. Un motiv important al acestei necesități ține de faptul că ruperea s-a produs într-o anumită ordine și că, de regulă, trebuie identificată această ordine, ceea ce presupune examinarea comparativă a tuturor părților casurii.

Dealtfel, chiar dacă se pretinde a nu se cerceta decât amorsa sau amorsele ruperii, regiunile corespondente nefiind cunoscute apriori, recurgerea la o prelevare limitată echivalează cu considerarea problemei ca rezolvată înainte de a fi analizată. Zonele îndepărtate de amorsă pot, însă, și ele să prezinte un interes deosebit pentru a fi expertizate. Astfel, poziția și întinderea zonei de rupere finală furnizează

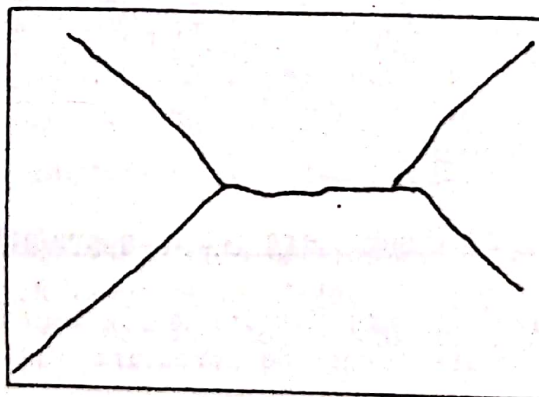


Fig. 3.13 Suprafața nepregătită a unui arbore intermediar de navă Liberty, fisurat prin oboseală



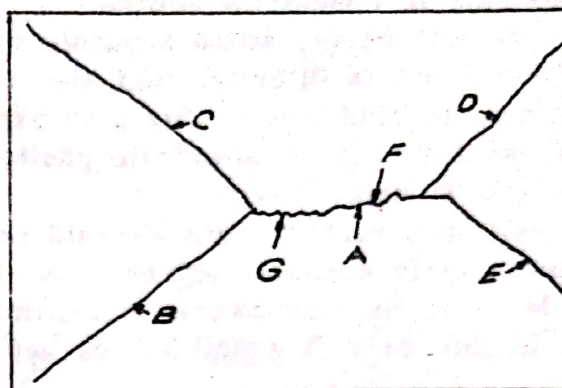


Fig. 3.14. Probă magnetoscopică pe cale uscată pe același arbore

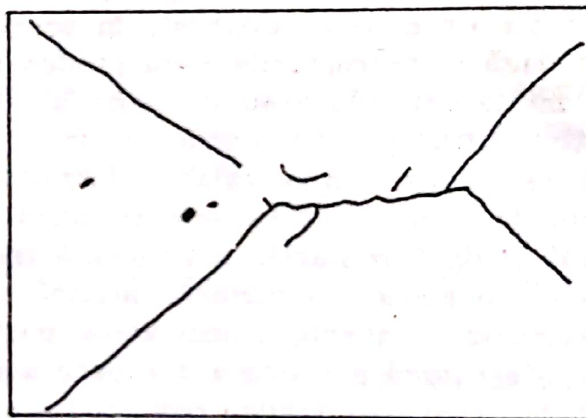


Fig. 3.15. Examinarea cu lichide penetrante a aceluiasi arbore intermediar

ză adesea informații foarte utile, mai ales în ceea ce privește intensitatea eforturilor aflate în joc. A te limita, deci, la cercetarea punctelor de amorță înseamnă a admite în mod aprioric că aceste eforturi n-au nimic anormal, ceea ce este, de asemenea, greșit.

Pentru o ruptură franșe, care separă piesa în două fragmente, examinarea trebuie să se facă și pe o parte și pe cealaltă, ori de câte ori acest lucru este posibil.

Intr-adevăr, dacă ruptura este complexă se poate ca diversele sale regiuni să nu plece toate din amorsele situate pe același fragment sau ca unele din porțiunile sale caracteristice să nu existe



decît pe un fragment din plesa ruptă, situații ce se întîlnesc mai ales în rupturile apărute la răsucirile ciclice.

Pe de altă parte, odată separate prin rupere, fragmentele pot suferi influențe foarte diferite, mai ales cînd ruperea privește o plesă în mișcare sau cînd s-a produs prin explozia unei capacități. În aceste cazuri, se întîmplă ca alterările găsite pe un fragment să lipsească pe celălalt și viceversa.

Chiar dacă ruptura este alterată pe o regiune a întinderii sale, examinarea ei în această regiune poate furniza informații utile, interesînd - de exemplu - orientarea sa. Nimic nu îndreptățește, deci, să se arunce înainte de a fi examinat una sau alta din părțile plesii rupte.

### 3.3.2.2. Cazul: în care există mai multe ruperi

Cînd există mai multe ruperi, acestea trebuie - în principiu - să fie toate examinate. Dealtfel, în aceste cazuri nu se poate ști de la început dacă toate rupturile s-au produs simultan sau succesiv. De cele mai multe ori, ele s-au succedat în timp, formarea primelor creînd condiții pentru apariția următoarelor.

Acest lucru rămîne valabil chiar dacă rupturile se referă la piese identice; de exemplu, diversele șuruburi ale unei îmbinări. El rămîne valabil și dacă rupturile interesează regiuni relativ îndepărtate unele de altele din aceeași structură, mașină sau utilaj. Într-un motor Diesel, de exemplu, o avarie a unui atelaj poate antrena o iregularitate a cuplului, de natură a provoca o rupere a arborelui cotit într-o altă zonă decît în dreptul atelajului respectiv.

Rezultă că examinarea tuturor rupturilor (suprafețelor de rupere) este necesară, cînd ele nu sînt toate - în mod manifest - de același fel (fig. 3.16). Cînd ele sînt numeroase, gruparea lor pe tipuri furnizează indicații prețioase asupra frecvenței relative a diverselor tipuri și, prin aceasta, asupra gravității riscurilor corespunzătoare.

Totuși, dacă rupturile sînt extrem de numeroase (se poate ca în unele structuri să se observe zeci și chiar sute), ele sînt, în general, dezvoltate foarte inegal. În aceste cazuri, se poate admite că primele formate sînt printre cele mai dezvoltate și, prin urmare, se pot preleva, pe de o parte, rupturile de o oarecare întindere, iar pe de altă parte, prin selecție, și unele din rupturile mai mici.



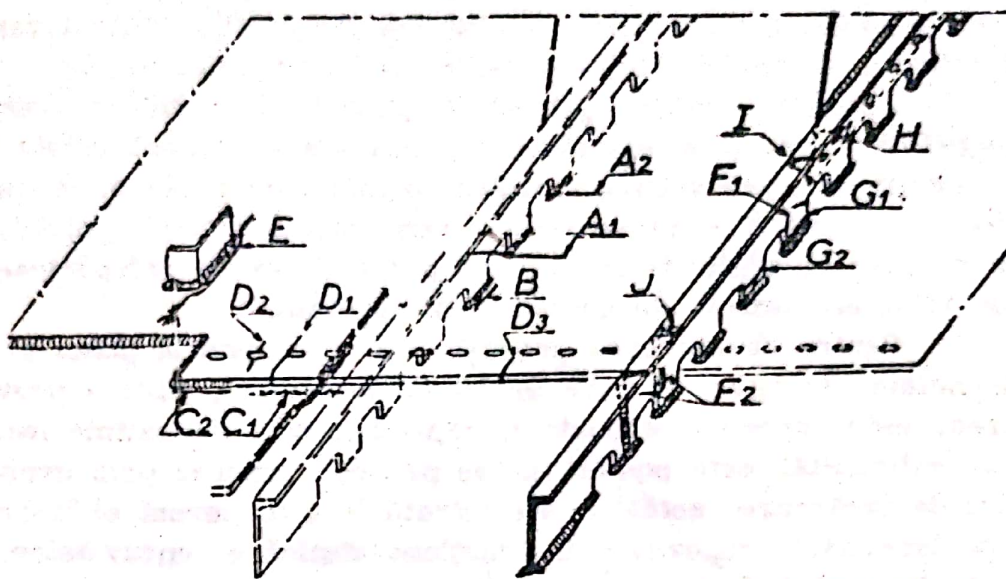


Fig. 3.16. Reprezentarea schematică a tipurilor de casuri observate pe coca de la pupa unui car-gou, după H. de Leiris

### 3.3.2.3. Măsurile de luat în cazurile în care prelevarea nu este completă

Motive practice, de exemplu necesitatea de a remedia structura în care au apărut rupturi, pot constitui cauze contrarii modului de prelevare descris anterior. În acest caz, este de recomandat să se examineze pe loc rupturile sau părțile de rupturi care nu vor putea fi analizate în laborator, efectuând toate observările posibile mai înainte ca operațiile de remediere să nu facă să dispară aceste casuri. Pentru a putea pune un diagnostic cât mai real asupra cauzelor avariei, este bine ca ori de câte ori este posibil să se realizeze mulaje, din rășini poliesterice, ale rupturilor din care nu se pot preleva probe.

### 3.3.3. Examinarea propriu-zisă

#### 3.3.3.1. Deschiderea fisurilor

Înainte de deschiderea fisurilor, mai ales dacă această operație necesită distrugerea parțială a piesei, trebuie să se procedeze la toate relevările necesare pentru a-i fixa starea. Aceste relevări cuprind:



adesea măsurări ale piesei și întotdeauna desene sau fotografii ale traseelor exterioare ale fisurilor și accidentelor de suprafață, care le sînt eventual asociate; pentru aceste schițe sau fotografii, tehnica replicelor nitrocelulozice de înaltă fidelitate poate fi de un mare ajutor.

Această tehnică, aplicată de această dată după o pregătire metalografică potrivită a suprafețelor, va permite - dacă există o îndoaie oricît de mică asupra calității metalurgice a piesei în regiunea interesată a fisurării - să se facă o idee asupra acestei calități, mai înainte ca prin operația de deschidere a fisurii să se îndepărteze parțial sau total elementele de apreciere a acesteia.

Pentru deschiderea propriu-zisă sînt puse la punct procedee foarte variate. În cazul în care modul de încărcare, care a provocat fisurarea, este cunoscut și poate fi reprodus cu o intensitate mai puternică, suficientă, este posibil să se producă ruperea prin creșterea gradului de încărcare; astăzi, este intrată în uzul curent al laboratoarelor de încercări ruperea prin tracțiune statică a epruvetelor fisurate prin încercări de tracțiune ciclică.

Dacă efortul, care se poate dezvolta, este insuficient pentru a permite, sub tipul normal de încărcare, ruperea piesei în dreptul fisurii, chiar dacă s-a efectuat o crestătură (cum se va arăta mai departe), se poate recurge la un tip de încărcare mai favorabil pentru a produce ruperea. Încovoierea, în mod deosebit, permite adesea, pentru un efort total dat, să dezvolte tensiuni foarte ridicate, în timp ce efectul de pană poate fi, de asemenea, pus în valoare, în anumite cazuri (fig. 3.17).

Cînd fisurile sînt puțin dezvoltate, aceste diverse procedee comportă totuși pentru suprafața acestor fisuri riscuri de alterare, ce nu pot fi neglijate.

Pe de o parte, chiar cînd tipul de încărcare este neschimbat, dacă ruptura survine după modul tenace (ductil), există riscul să apară deformații plastice relativ importante ale ultimelor porțiuni formate ale fisurii. Pe de altă parte, dacă tipul de încărcare se schimbă, pot să apară pe suprafața de rupere alte solicitări decît tensiunile normale care au produs fisurarea, de exemplu compresuni sau forfecări, și astfel de solicitări sînt de natură să provoace alterări ale acestei suprafețe. În scopul evitării unor astfel de neajunsuri, trebuie redus cît mai mult posibil efortul necesar pentru a produce ruperea.

Un prim grup de mijloace, capabile să asigure un astfel de rezultat, sînt cele care pot produce ruperea fragilă. În cazul oțelurilor, se poate, de exemplu, să se opereze la temperaturi scăzute sau, cum prevăd unele standarde germane pentru încercarea texturii, la temperatura de albastru.



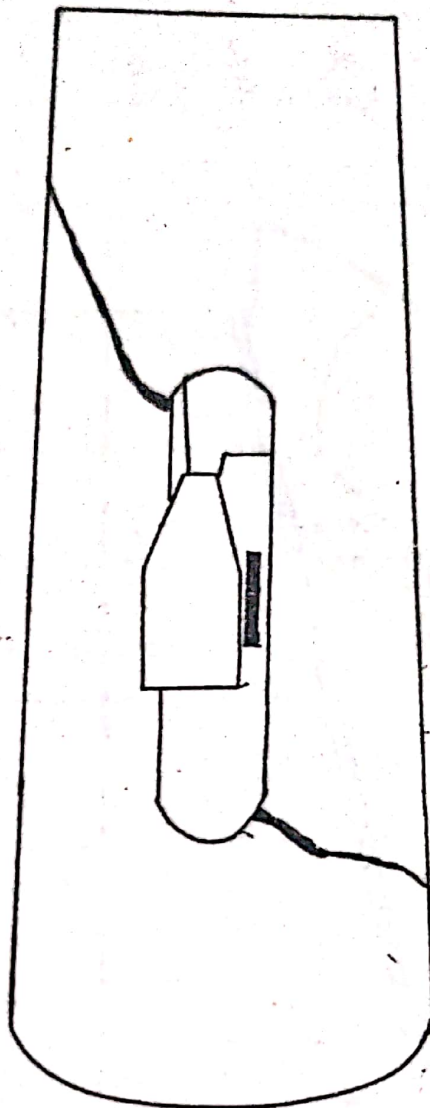


Fig.3.17. Deschiderea prin încovoiere a fisurilor formate în lăcașul penei de fixare transversală a axului cârmei unei nave cu ajutorul unor pene introduse în lăcașul penei de fixare

Cel mai des, lucrurile se rezolvă în mod simplu prin reducerea secțiunii, care urmează să fie ruptă, printr-o ușoară prelucrare locală sau încreștînd plesa prin rizuri de ferăstrău. În acest caz, trebuie avut grijă să nu se distrugă parțial casura în cursul operației, ceea ce este dificil pentru că nu se cunoaște întinderea exactă a fisurii.

O metodă mai laborioasă decît precedentele, dar cu mult mai corectă, în principiu, este procedeul tăierii după contur. Această



metodă operează prin rabotare sau prin strunjire și, uneori, combinând aceste două procedee. În toate cazurile, fisurile sînt degajate spre înapoi, cu o sculă care lucrează prin treceri neparalele cu aceste fisuri. Supraveghind apariția lor sub sculă, se poate urmări cu suficien-

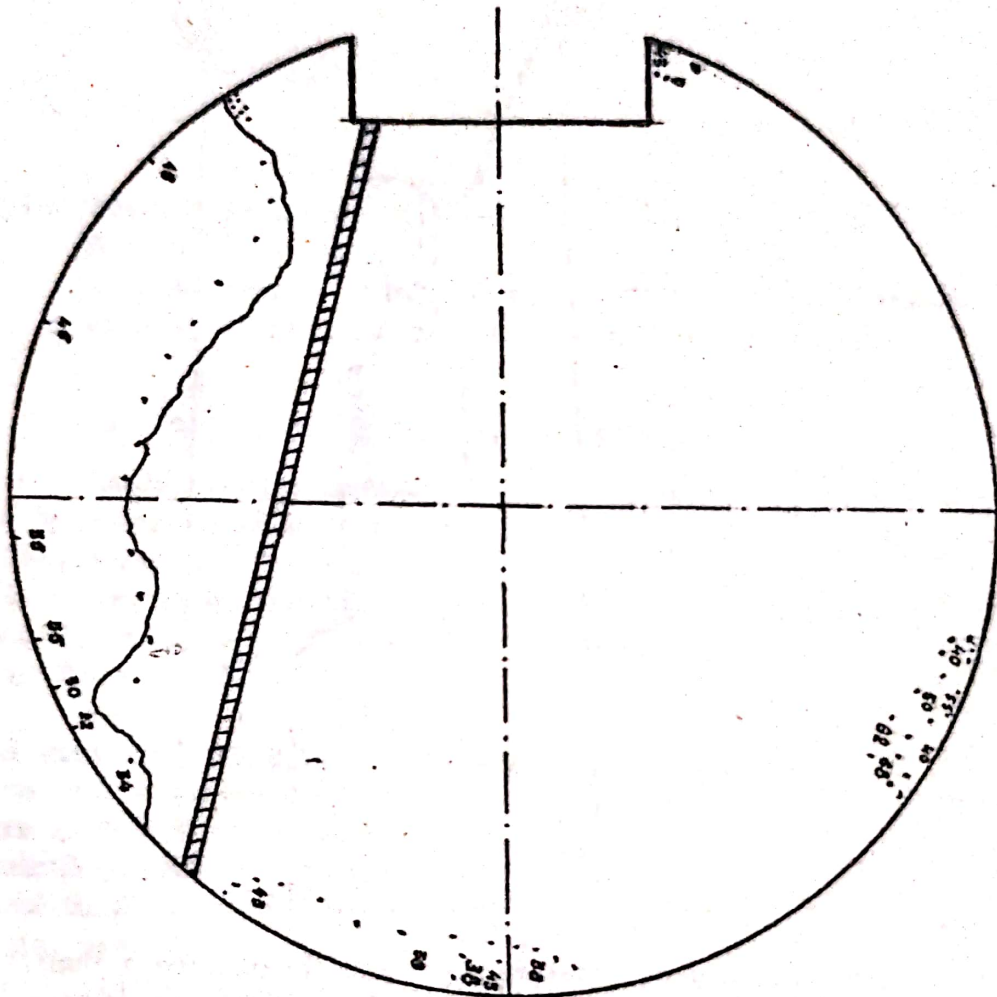


Fig. 3.18. Tăierea după contur a unei fisuri pe un arbore port-elice (X 0,63)

... Fronturile fisurilor după informațiile obținute la explorarea cu ultrasunete;

▨ Secțiune practică cu fereastră mecanică, după informațiile obținute prin explorarea cu ultrasunete;

— Frontul obținut prin tăiere după contur cu scula tăietoare.



tă exactitate fronturile acestor fisuri pentru a nu face să dispară decât foarte puțin din suprafața lor.

Pentru a ușura operația de tăiere după contur, mai ales când fisurile sînt destul de puțin dezvoltate, se procedează adesea la o debitare prealabilă a piesei. În astfel de cazuri, o explorare cu ultrasunete poate înlesni plasarea tăieturilor, în așa fel încît să se evite orice alterare a fisurilor (fig. 3.18).

### 3.3.3.2. Pregătirea suprafețelor

Atît în cazul rupturilor franșe, cît și al fisurilor în prealabil deschise, suprafețele de examinat pot fi mai mult sau mai puțin murdare, datorită diferitelor depuneri (oxizi, lubrifianti etc.). Aceste depuneri trebuie observate cu atenție și la nevoie fotografiate, deoarece prezența și caracteristicile lor (culoare, consistență etc.) pot constitui indicii utile.

De regulă, însă, ele împiedică examinarea suprafeței rupturii și eliminarea lor se impune printr-un studiu complex și complet. Această eliminare se face mai întîi prin curățire, apoi prin desruginiere, dacă piesa este din oțel, sau chiar prin decapare.

Curățirea. În acest scop, se poate utiliza, de exemplu, o perie nemetalică foarte dură ce se îmbibă cu white spirit, care este un bun solvent și puțin inflamabil. Se freacă energic cu această perie suprafața rupturii, repetînd operația de cîte ori este necesar pentru a obține rezultatul dorit.

Un alt procedeu, cu totul diferit, care se dovedește adesea foarte eficace pentru curățire, constă în a opera ca și cum s-ar lua o replică nitrocelulozică a suprafeței; cînd filmul format, odată uscat, este desprins de pe suprafață, antrenează și materialele străine care o murdăresc, chiar dacă aceste substanțe aderă mai mult sau mai puțin la el. Procedeu poate fi aplicat, la nevoie, de mai multe ori succesiv.

Pentru rupturile recente ale unor piese de mici dimensiuni, care au lucrat în ulei, ferite de orice coroziune (piese de automobil, de exemplu), de multe ori este suficientă simpla frecare a suprafeței cu o gumă pentru șters urmele de crelon.

Desruginirea pleselor din oțel. Procedeele de curățire, care au fost citate, nu sînt - de obicei - suficiente pentru a curăța suprafețele de rupere ale pleselor din oțel; de aceea, trebuie efectuată o desruginire.

Acizii, care atacă rapid oțelul, nu pot fi utilizați, în acest scop, decît cu mari precauții. În general, nu este indicat a se recurge



la o desruginire electrolitică în băi alcaline, fiind suficientă utilizarea unei băi acide cu un adaos potrivit de inhibitor, de exemplu după următoarea rețetă prin care se obține un litru de reactiv:

- se dizolvă, de o parte, 2 grame de acid arsenios în  $200 \text{ cm}^3$  de acid clorhidric concentrat ( $d=1,19$ ), după care se adaugă  $500 \text{ cm}^3$  de apă și se agită puternic;

- se dizolvă, de altă parte, într-un recipient bine uscat, 5 grame de clorură stanioasă ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) în  $100 \text{ cm}^3$  de acid clorhidric concentrat ( $d=1,19$ ); când dizolvarea este terminată, licoarea trebuie să fie foarte clară. Se adaugă apoi  $200 \text{ cm}^3$  de apă și  $10 \text{ cm}^3$  de formol (40%) și se agită.

Aceste două soluții, preparate separat, se amestecă în momentul desruginirii.

După curățire, plesa care urmează să fie desruginită este, în funcție de volumul său, imersată în întregime în bala de desruginire sau periată cu o perle metalică foarte dură, înmuiată în baie ori de câte ori este necesar. Când operația de desruginire este terminată, plesa se plasează sub un jet de apă și se spală bine cu apă și săpun, utilizând o perle remetalică foarte dură. După o clătire abundentă, se usucă sub un jet de aer, fără a se etuva, pentru a nu se provoca o oxidare superficială.

Datorită arsenicului pe care-l conține, reactivul indicat este toxic și trebuie întrebuințat, pe cât este posibil numai cu mănuși de cauciuc. Datorită volatilității aldehidei formice și oxidabilității clorurii stanioase, acest reactiv nu trebuie preparat decât în momentul întrebuințării. El nu se păstrează mult timp și atunci când devine galben trebuie înlocuit cu un preparat proaspăt.

De asemenea, este necesar de reținut că acest reactiv - depunând pe suprafețele desruginite o peliculă care le protejează - nu poate fi folosit dacă aceste suprafețe trebuie studiate prin microfractografie. Datorită aspectului său mat, pelicula depusă favorizează, în schimb, fotografierea la scară macroscopică.

Decaparea celorlalte aliaje. Celelalte aliaje, cu excepția oțelurilor, prezintă casuri de regulă mai puțin oxidate, care nu necesită niciodată decaparea. Cu toate acestea, pentru alamă este nevoie, uneori, să se utilizeze acidul clorhidric (20%).

### 3.3.3.3. Examinarea și fotografierea

Pentru a aplica principiile analizei morfologice la casurile de oboseală, trebuie mai întâi să fii sigur că ruperea ce se examinează



ză este cu adevărat produsă de un proces de oboseală. Desigur, în cele mai multe cazuri, aspectul tipic al acestui proces sau caracteristicile sale secundare, cum este sistemul de linii frontale, nu lasă nici o îndoială în această privință.

Dar se poate întâmpla ca, de exemplu, chiar în regiunea de amorsă, grăuntele microscopic al rupturii să arate mai grosier decât la o oarecare distanță de această amorsă; în acest caz, este posibilă o ezitare, cel puțin între două ipoteze: aceea a unei inițieri prin rupere fragilă sub efectul unui șoc și aceea a unei simple variații de alură a fisurării progresive, ca urmare fie a unei solicitări ciclice deosebit de intense care a stat la originea procesului, fie a unei slăbiciuni deosebite a metalului în regiunea respectivă.

În astfel de cazuri, devine - în principiu - decisiv examenul prin microfractografie electronică.

Microfractografia electronică. Această tehnică, ale cărei baze sînt prezentate în cadrul subcapitolului 3.3, trebuie, în anumite cazuri, să se aplice după procedeul nedestructiv al lui P.A. Jacquet și E. Mencarelli. Din nefericire, microfractografia electronică nu este aplicabilă cînd rupturile sînt puternic oxidate, ceea ce se întâmplă destul de des în cazul pieselor din oțel.

Examinarea macroscopică. Rupturile pregătite, cum s-a arătat, trebuie examinate mai întîi direct cu ochiul liber sau, pentru anumite detalii, cu lupa sub iluminările cele mai variate: difuză sau nu, normală sau oblică etc. Aceste iluminări pun inegal în valoare diverse caracteristici ale suprafeței de rupere, iar limitarea la un singur mod de iluminare comportă riscul de a nu remarca una sau alta din aceste caracteristici.

Același motiv face, adesea, dificil de fixat, simultan prin fotografiere, toate caracteristicile unei casuri. Este, deci, recomandabil în cazul în care casura nu este foarte simplă, să se stabilească, la o scară potrivită, o schiță detaliată pe care se vor însemna toate particularitățile remarcate la examinarea vizuală. Existența unei astfel de schițe va înlesni mult, în majoritatea cazurilor, înțelegerea și de o altă persoană a fotografiilor ce se vor face.

S-au produs, de altminteri, sisteme de notare simbolică, care permit să se limiteze schițele în cauză la scheme interpretative. Figura 3.19 dă un astfel de exemplu (după Pignet).



|                             | Pres-<br>curtări    | Reprezentarea<br>schematică |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Amorse                      | A                   |                             |
| Linia de amorsare           | La                  |                             |
| Linia frontală              | LF                  |                             |
| Linia de creastă            | LC                  |                             |
| Linia radială               | LR                  |                             |
| Taluz de alunecare          | T                   |                             |
| Mărimea grăuntelui, grosier | GG                  |                             |
| Mărimea grăuntelui, fin     | GF                  |                             |
| Zone de                     | Fisurare progresivă | FP clară                    |
|                             | Rupere brutală      | RB umbrită                  |

Exemple

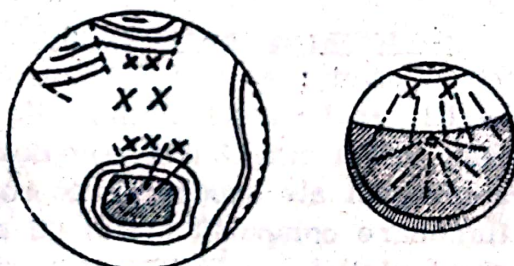


Fig. 3.19. Reprezentarea convențională a aspectelor caracteristice ale casurilor de oboseală

**Fotografierea.** Fotografierea pieselor rupte sau fisurate în serviciu nu ridică probleme deosebite decât în ceea ce privește suprafețele de rupere. În acest caz, fotografia are ca obiect principal punerea în evidență a aspectelor caracteristice, examinate în cadrul analizei morfologice, aspecte care, în majoritatea cazurilor, se referă la relieful suprafețelor de rupere. În al doilea rând, fotografierea are și scopul de a fixa pentru aceste suprafețe și alte aspecte, cum ar fi, de



exemplu, coloritul diferitelor regiuni ale casurii.

În lipsa stereofotografiei, imprimarea reliefului este obținută printr-o alegere judicioasă a iluminării suprafeței de fotografiat. Ca regulă generală, această iluminare trebuie să fie oblică, în unele cazuri chiar razantă. Lumina naturală, mult prea difuză, este neconvenabilă și plesa trebuie mascată pentru a o ilumina numai cu ajutorul unui proiector al cărui fascicul este înclinat pe casură de la 0 la 30°, în funcție de caracteristicile casurii.

Unei asemenea iluminări oblice i se poate reproșa că dă plaje de umbră prea opace în care nu se mai distinge nici un detaliu. Acest inconvenient, însă, secundar față de scopul principal urmărit, poate fi în prezent într-o anumită măsură atenuat prin întrebuintarea unui dispozitiv special cu compensare electronică automată. Pentru piesele ale căror dimensiuni nu sînt prea mari, utilizarea unei camere fotografice care glisează pe o coloană verticală a cărei bază este fixată într-un soclu cu posibilități de calare a pieselor cu casurile lor în poziție verticală se dovedește deosebit de utilă. Iluminarea se obține, în acest caz, cu ajutorul unui sau mai multor proiectoare laterale.

Grosismmentul de lucru variază între 1 și 10. Cît despre plăcile fotografice utilizate, timpul de expunere etc., condiții foarte variate pot da bune rezultate.

Celelalte aspecte caracteristice, cu excepția celor referitoare la relief care se pot fixa cu ajutorul fotografierii, sînt mai ales variațiile de culoare. În această privință, chiar dacă se recurge la fotografia în culori și cu atît mai mult în alb-negru, umbrele de pe suprafața de rupere - datorate propriului său relief - falsifică valoarea acestor tente. De aceea, este de dorit să se evite, pe cît posibil, umbrele prin întrebuintarea unei iluminări artificiale puternice.

#### 3.3.3.4. Interpretarea observațiilor

Interpretarea observațiilor făcute pe suprafețele de rupere constituie analiza morfologică propriu-zisă. Oschatz a fost primul care s-a preocupat de stabilirea principiilor care stau la baza acestei analize în cazul oboseli. Aceste principii constituie, în prezent, un capitol prea dezvoltat ca să poată fi expuse complet în cadrul acestui îndrumar. Ceea ce ne propunem este ca acela care studiază această lucrare să găsească elemente suficiente pentru ca, analizînd o ruptură prin oboseală, să poată desprinde cauzele care au produs-o.



### 3.4. Examinarea rupturilor prin oboseală cu ajutorul microscopului electronic

Microfractografia, care constă în examinarea la microscopul electronic a suprafețelor de rupere, arată că aspectele observate se reduc, în cazul metalelor, la un număr mic de tipuri foarte simple și caracteristice modului de rupere. În plus, ea dă informații interesante pentru studierea mecanismelor de amorsare și propagare a fisurilor.

#### 3.4.1. Tehnica experimentală

Reamintim că microfractografia utilizează nu numai puterea separatoare a microscopului electronic, ci și adâncimea considerabilă a câmpului său. Examinarea se face prin intermediul replicilor ce pot fi obținute direct, volatilizând sub vid la suprafața eșantionului o peliculă de carbon, care apoi se detașează dizolvând metalul subadiacent. Această metodă este foarte fină, dar suprafața de rupere se distruge prin dizolvare. Dacă este necesar să se evite distrugerea, replica trebuie pregătită în doi timpi: mai întâi se face o amprentă a suprafeței de rupere cu ajutorul unui lac plastic, iar apoi, plecând de la această amprentă, o replică de carbon. Prin utilizarea microscopului electronic cu baleiaj, examinarea făcându-se direct pe plesă, tehnica microfractografiei se simplifică mult, ea reducându-se doar la examinare și interpretare.

În ceea ce privește ruperile prin oboseală, examinarea la microscopul optic a unor secțiuni metalografice prin suprafețele de rupere permite corelarea observațiilor microfractografice la aspecte mai obișnuite. La fel, observarea prin microscopie electronică a deformărilor superficiale, ce se produc în cursul încercării de oboseală, facilitează interpretarea microfractografiei. În sfârșit, întrebuințarea microscopului optic cu toată adâncimea slabă a câmpului său nu trebuie să fie neglijată la examinarea suprafețelor de rupere. Dacă este foarte dificil să se obțină fotografii bune, observarea este susceptibilă să dea rezultate complementare acelor care utilizează microscopia electronică; examinarea regiunilor extinse și localizarea zonelor observate sînt mai ușoare și mai rapide. Să menționăm, în această privință, că unele aspecte relevate prin microfotografii au fost anterior observate la microscopul optic de către Zapffe și Worden.



### 3.4.2. Aspecte caracteristice ale suprafețelor de rupere

Pentru a permite să se identifice ruperile prin oboseală vom reaminti aspectul deosebit al ruperilor ductile (tenace), care se prezintă întotdeauna sub forma unei suprapunerii de mici cratere pe cele două fețe ale casurii și al căror fund prezintă frecvent o incluziune sau un precipitat. Acest aspect permite să se înțeleagă bine mecanismul propagării ruperilor ductile. El se produce înaintea frontului de rupere al decoeziunilor din jurul incluziunilor; plecând de la aceste decoeziuni, se formează găuri și fisura progresează prin ruperea punților care separă aceste găuri. În anumite cazuri, se pare că decoeziunea inițială, în metalul de bază, se produce de-a lungul unui plan de alunecare și este posibil ca pe suprafața de rupere să se întâlnească toate situațiile intermediare între cele două extreme, cratere franșe și, respectiv, decoeziuni extinse de-a lungul planurilor de alunecare, care sînt însoțite de deformări cu mult mai reduse.

Suprafețele de rupere specifice fenomenului de oboseală prezintă și ele aspecte particulare, care se regăsesc pe metale cu structuri cristalografice diferite. Cel mai tipic este cel caracterizat prin striuri aproape paralele. Acest aspect este caracteristic suprafețelor de rupere prin oboseală și permite identificarea acestui mod de rupere.

În funcție de casura examinată sau de regiunea observată pe aceeași ruptură, striurile sînt mai mult sau mai puțin regulate și mai mult sau mai puțin nete. Ele nu sînt, de regulă, prezente pe toată întinderea casurilor; uneori, se observă suprafețe fără relief foarte marcat, similare decoeziunilor ce se produc în lungul planurilor de alunecare la ruperile ductile. Aceste zone nu sînt întotdeauna ușor de deosebit de zonele netede care corespund unei deteriorări a suprafeței după trecerea frontului de rupere. Această mătuire a casurii se produce inevitabil în cursul încercărilor de oboseală, după ruperea epruvei, dacă mașina utilizată are o inerție mare. Ea se poate produce, însă, și în cursul propagării fisurii.

Striurile au fost observate pe casurile prin oboseală, la numeroase oțeluri feritice și austenitice, aliaje ușoare, de cupru, titan etc. Aspectul lor nu este sistematic diferit de la un metal la altul, dar se pare că, într-o manieră generală, se poate afirma că pentru metalele care cristalizează în sistemul cubic cu fețe centrate zonele striate apar cu precădere pe casurile metalelor (Al, Co, Ni) și aliajelor (duraluminu, oțel inoxidabil 18-14) ce au o mare energie de defect de stivuire.

Striurile sînt, de regulă, perpendiculare pe direcția de propagare, ceea ce conduce la concluzia că ele reprezintă poziții succesive ale frontului de propagare.



Această interpretare este confirmată prin aspectul striurilor în vecinătatea incluziunilor; se poate afirma că înaintea frontului de rupere se formează mici decoeziuni amorstate pe incluziuni și care se unesc apoi cu fisura principală.

S-a putut demonstra că trecerea de la un striu la altul corespunde cel puțin la câteva cicluri. Acest rezultat a fost confirmat de Forsith și colaboratorii săi, care, în plus, au încercat să precizeze mecanismul de formare a striurilor.

Striurile desenează, adesea, adevărate franjuri a căror convexitate este îndreptată în sensul propagării către înainte. Punctele de racord ale franjurilor sînt grosier aliniate, perpendicular pe frontul de rupere și direcția striurilor; uneori, puțin marcate, aceste linii au, cel mai adesea, un relief accentuat; în acest caz, ele corespund unei amprente pe suprafața de rupere, care se formează prin defibrare în timpul unirii zonelor vecine, unde fisura progresează de regulă în plane paralele, dar ușor decalate unele față de altele. Deformarea locală importantă, specifică acestei fisurări, frînează propagarea fisurii, ceea ce explică forma franjurilor. Ampretele precedente sînt, deci, în mare măsură asemănătoare acelor observate pe suprafețele de rupere prin clivaj, care se unesc ca "rîurile".

În cazul oboselii, se observă, uneori, o confluență analoagă.

Pe microfractografiile suprafețelor de rupere prin oboseală, nu se observă rosturile grăunților și nici o altă discontinuitate în aspectul striurilor, care să te facă să te gîndești la ele. În cazul în care suprafața de rupere prin oboseală este atacată suficient pentru a reliefa rosturile grăunților, dar destul de slab pentru ca striurile să subziste, aspectul rezultat arată că între rosturi și striuri este o legătură slabă. Acest rezultat poate fi apropiat de o observare relativă la suprafața a benzilor de alunecare prin oboseală. Ca și striurile, aceste benzi apar adesea continuu sau aproape continuu la trecerea rosturilor grăunților. Examinarea la microscopul electronic a acestor benzi de oboseală relevă prezența a numeroase alunecări deviate, ceea ce explică că direcțiile lor nu coincid, în mod necesar, cu acelea ale liniilor de alunecare și că ele pot traversa rosturile grăunților fără o deviere importantă; se observă, de asemenea, numeroase microfisuri în aceste benzi de alunecare prin oboseală. Fisurile reproduc aceste microfisuri și, astfel, se înțelege că există o anumită legătură între elementele deviate, striurile suprafețelor de rupere și, mai general, propagarea rupurilor prin oboseală.

Zonele netede de pe suprafețele de rupere corespund, în mod sigur, benzilor de deformare, în cadrul cărora nu intervine decît un singur sistem de linii de alunecare. Si în acest caz, au loc decoeziuni



după planurile de alunecare, dar deformația care provoacă deconsolidarea nu are aceleași caractere ca într-o încercare în care solicitarea este tot timpul de același sens.

### 3.4.3. Influența ecruisării prealabile asupra aspectului rupei prin oboseală la un oțel moale

Aspectele macroscopice ale rupturilor prin oboseală la tracțiune-compresiune a unor epruvete în prealabil ecruisate sînt destul de diferite. Fără ecruisare, zona de rupere cu propagare lentă, în cursul oboselii este aproape plană și normală la axa epruvetei. După o ecruisare prin tracțiune de 5 sau 10%, această zonă rămîne plană, dar planul său face cu axa epruvetei un unghi cuprins, de regulă, între 45 și 60°. În sfîrșit, după o ecruisare de 15%, suprafața rupturii prin oboseală prezintă un relief foarte marcat, fără orientare netă generală.

Aspectele, observate prin microscopie electronică, evoluează într-o manieră continuă cînd ecruisarea prealabilă crește. Pentru o ecruisare prealabilă de 5%, se constată că striurile sînt mai puțin regulate, mai deformate și mai scurte decît pentru un metal neecruisat. Acest efect se accentuează pentru un ecruisaj de 10%. Pe de altă parte, aspectul general prezintă un relief mai marcat, decoeziunile de-a lungul planurilor de alunecare deconsolidate sînt foarte neregulate și sînt, întotdeauna, mai mult sau mai puțin striate pe suprafețe mici. Cînd ecruisarea prealabilă atinge 15%, evoluția precedentă se continuă. Apar forme mai rotunjite, care reamintesc craterele caracteristice rupei ductile ce iau naștere la incluziuni. În unele regiuni foarte localizate, se observă chiar cratere franșe, de dimensiuni foarte variabile.

Aspectul observat pe epruvetele precedente este foarte asemănător cu cel al suprafețelor de rupere a epruvetelor ce au suferit o deformare însemnată chiar în cursul încercării de oboseală, indiferent de faptul că această deformație se datorează naturii solicitării (întindere pulsatorie) sau a metalului (austenită, de exemplu).

### 3.4.4. Influența structurii asupra aspectului rupturii prin oboseală a oțelurilor

Morfologia suprafețelor de rupere prin oboseală ale pieselor tratate termic din oțeluri aliate Cr-Mn, obținute prin încercări de tracțiune-compresiune cu încoviere rotativă, evoluează într-o manieră caracteristică, în funcție de structura acestor oțeluri. În funcție de



tratamentul termic ce le-a fost aplicat - călire izotermă sau călire urmată de revenire - aceste oțeluri pot avea următoarele structuri: ferito-perlitică, bainită revenită, bainită și martensită revenită, martensită revenită. Aceste structuri diferite determină aspectele rupturilor, care variază într-o manieră continuă. Striuri lungi, paralele și drepte observate în ferito-perlită, succed în bainită, iar în martensită striurile sînt din ce în ce mai scurte, curbe și rău formate. Paralel, proporția zonelor plane de decoeziune de-a lungul planurilor de alunecare crește. Aceste rezultate par să indice că, atunci cînd se trece de la o structură ferito-perlitică la o structură bainitică sau martensitică, numărul sistemelor active de alunecare descrește.

Observațiile pe care le-am descris demonstrează că aspectul microfractografic al suprafețelor de rupere prin oboseală depinde strîns de condițiile de propagare a fisurii. Rezultă importanța pe care o prezintă, din punct de vedere teoretic, examinarea suprafețelor de rupere prin oboseală la microscopul electronic, dar trebuie menționat, în același timp, că ea permite să se clarifice originea ruperilor survenite în serviciu, furnizînd informații utile asupra naturii solicitărilor pe care le-a suferit piesa ruptă.

### 3.5. Îmbunătățirea durabilității pieselor de mașini

#### 3.5.1. Învățămintele obținute prin încercările de oboseală

Informațiile de ordin practic ce se obțin, în prezent, prin încercările de oboseală ale epruvetelor, precum și ale pieselor și subansamblelor de mașini sînt de două feluri:

- de ordin metalurgic, referitoare la alegerea celor mai indicate metale sau aliaje, precum și la stabilirea celor mai favorabile tratamente termice, chimice sau mecanice;
- de ordin constructiv, referitoare la influența diversilor factori de formă (găuri, creștături, gulere, schimbări de secțiune etc) și a gradului de finisare a prelucrării suprafețelor asupra comportării în serviciu a pieselor și subansamblelor.

##### 3.5.1.1. Informații de ordin metalurgic

Cunoașterea limitelor de oboseală ale metalelor și aliajelor, în condiții date de aplicare a eforturilor, prezintă un interes indiscutabil pentru alegerea materialului. Încercările efectuate au scos în evidență avantajul pe care-l prezintă unele oțeluri speciale în comparație cu cele obișnuite. Totuși, întrebuintarea oțelurilor de foarte înaltă re-



zistență nu se impune întotdeauna; peste o rezistență de rupere la tracțiune de circa  $1\ 200\ \text{N/mm}^2$ , limita de oboseală nu mai crește proporțional cu rezistența și trebuie luate precauții speciale (elaborare, tratament, prelucrare, protecție) pentru a obține o îmbunătățire sensibilă a durabilității.

Determinarea limitelor de oboseală a metalelor ușoare, ul-tră-ușoare sau pe bază de cupru permite compararea acestor materiale cu oțelurile și, pe această bază, dacă este cazul, transpunerea acestora la construcții similare. Înlocuirea oțelurilor moi cu oțeluri speciale sau de foarte înaltă rezistență trebuie să se decidă, în primul rând, pe baza valorilor limitei de oboseală și numai, în al doilea rând, pe baza celorlalte caracteristici mecanice (sarcină de rupere, limită de curgere, modul de elasticitate, rezistență etc.) și a densității (raport rezistență/greutate).

În ceea ce privește tratamentele termice, cercetările efectuate demonstrează că revenirea după călire este extrem de favorabilă din punct de vedere al durabilității în cazul oțelurilor speciale, dar pentru a concilia o limită de oboseală ridicată cu o bună reziliență este indicat să se efectueze revenirea în jur de  $600^\circ\text{C}$ ; se recomandă răcirea rapidă după revenire.

Prescrierea unei reziliențe ridicate, cel mai adesea, nu se justifică, fapt demonstrat de comportarea corespunzătoare în serviciu a arborilor cotiți, turnați din oțel sau fontă. Astfel, o perioadă îndelungată, s-a prescris pentru vilbrochenele de avion o reziliență de  $13\ \text{daJ/cm}^2$  a cărei necesitate nu a fost niciodată demonstrată. Prescrierea unei reziliențe ridicate, mai ales în direcție transversală, constituie, totuși, un criteriu al calității elaborării oțelului, care nu poate fi neglijată în anumite utilizări.

Pretensionarea superficială a pleselor prin eforturi de compresiune este de dorit, mai ales când acestea lucrează la încovoiere sau la răsucire. Se știe, într-adevăr, că la aceste solicitări ruperile prin oboseală se amorsează pe fibrele superficiale cele mai întinse. Pretensionarea de compresiune atenuează tensiunea periculoasă de întindere într-o asemenea manieră, încât mărește durabilitatea. Acest lucru este valabil, în aceeași măsură, pentru toate genurile de pretensionări de compresiune produse pe cale mecanică (tragere sau trefilare, roluire, alicare etc.) sau termică (mai ales prin răcire rapidă după revenire și, în mod deosebit, prin călire superficială după încălzire cu flacără sau prin curenți de inducție de înaltă frecvență).

Sensibilitatea la efectul de încreștere, adică diminuarea limitei de oboseală de către creșterile de ordin geometric, este - de asemenea - un factor foarte important de luat în seamă. Într-o manieră generală, metalele ductile, care au o anumită capacitate de defor-



mare permanentă, sînt mai puțin sensibile la acest efect decît metalele dure și fără alungire, ele fiind susceptibile de adaptare. De altminteri, sensibilitatea la creștătură, care se măsoară pe epruvete, se regăsește și la îmbinările elementare cu nituri sau șuruburi, precum și la structurile complete, care comportă astfel de îmbinări.

În prezența agenților corosivi, rezistența la coroziune constituie o informație esențială în ceea ce privește rezistența la oboseală. Tot astfel, și eficacitatea acoperirilor protectoare, în prezența diferitelor medii corosive, constituie o informație de prim ordin referitoare la rezistența la oboseală în condiții de coroziune. Acoperirile anodice se dovedesc mai bune decît cele catodice față de metalul protejat. Fosfatarea și rășinile sintetice dau foarte bune rezultate în direcția creșterii durabilității pieselor confecționate din oțel.

Adăugarea în lichidul corodat a unor produse care provoacă o pasivare a suprafeței este favorabilă. Un curent catodic convenabil poate frîna și chiar îndepărta oboseala în medii corozive.

Rolul și alicarea ameliorează comportarea la oboseală în medii corosive, obținînd porozitățile metalului și îmbunătățind duranța piesei, ca urmare a tensiunilor superficiale de compresiune pe care le dezvoltă.

Soluții corespunzătoare pentru ameliorarea rezistenței la coroziunea de contact sînt furnizate, în cazul oțelurilor, de către nitrurare, depuneri electrolitice, fosfatare, sulfurare, peliculele superficiale de grafit și bisulfură de molibden.

În sfîrșit, modificările de ordin chimic, chiar foarte superficiale, pe care le provoacă tratamentele termice sau chimice, sînt de natură să afecteze serios durabilitatea; decarburarea, de exemplu, o scade, în timp ce cementarea sau nitrurarea provoacă o creștere sensibilă a ei.

După o statistică, care se referă la piese componente de avioane (elemente de structură, piese ale trenului de aterizare și de motor) și include 192 de cazuri examinate, ponderea diferitelor cauze ale ruperilor prin oboseală sînt următoarele: 30% elaborarea metalului, 3% tratamentele termice și defectele de prelucrare metalurgică, 12% prelucrarea, montajul și funcționarea, 55% configurația geometrică.

Este evident că aceste ponderi nu sînt valabile decît pentru un tip de construcție determinat. Astfel, de exemplu, influența defectelor de ordin metalurgic va fi cu atît mai importantă cu cît piesele vor fi de mai mari dimensiuni, datorită segregățiilor și lipsei de pătrundere a forjării și călirii. În cazul pieselor de mașini, Gaydos a atribuit originea a 470 cazuri de rupere prin oboseală următoarelor cauze: 8% material incorect ales, 13% defecte de tratamente termice și



de prelucrare metalurgică, 17% erori de prelucrare, sudare și montaj, 28% supraîncărcare, 34% configurație geometrică necorespunzătoare.

Responsabilitatea ruperilor prin oboseală și a accidentelor care rezultă este prea des atribuită unui defect de elaborare, prelucrare metalurgică sau tratament termic, în timp ce cauza adevărată ține de o eroare de trasare a formei piesei, care conduce la vîrfuri de tensiune sau de dimensionare (suprasarcini). În plus, datorită necunoașterii nu se acordă importanța cuvenită calității suprafeței; pe de o parte prin eliminarea - în măsura posibilului - a defectelor superficiale, iar pe de altă parte alegînd natura acestei suprafețe în funcție de problema pusă (durificare, pretensionare, protecție contra coroziunii etc.).

### 3.5.1.2. Informații de ordin constructiv

Este de așteptat ca în viitor metalurgia să producă materiale cu limite de oboseală din ce în ce mai mari, dar încă de pe acum proiectanții dispun de mijloace simple prin care pot ameliora duranța, modificînd configurația geometrică a pieselor.

Studierea formelor raționale trebuie să ducă la o mai bună repartizare a materialului, evitînd zonele cu concentrări excesive de tensiune și pe cele cu tensiuni neglijabile. Această examinare trebuie să conducă la o îmbunătățire a securității pieselor, diminuînd - în același timp - greutatea lor. Mai întîi se impune o analiză precisă a condițiilor de lucru și o examinare atentă a formei piesei. Acest studiu conduce, întotdeauna, la o soluție mai rațională și mai economică decît alegerea unui material cu limită de oboseală ridicată, care fiind oțel special este mai costisitor. De altminteri, cîștigul care poate fi dobîndit în ceea ce privește duranța prin studierea configurației geometrice a pieselor este adesea cu mult mai mare decît acela obținut prin întrebuițarea unui metal cu limita de oboseală mai ridicată. O astfel de alegere, în cazul unor configurații foarte defectuoase, poate chiar să se dovedească absolut ineficace.

Întrebuițarea oțelurilor obișnuite (de exemplu, oțeluri moi sau semi-moi) sau a unor oțeluri speciale cu conținuturi scăzute în elemente de aliere pare preferabilă cînd configurația pieselor nu este perfect studiată sau cînd eforturile ce intră în joc nu sînt cunoscute cu precizie. Aceste oțeluri, la fel ca toate metalele ductile, se dovedesc mai bune în ceea ce privește repartizarea eforturilor și sînt astfel mai puțin sensibile la efectul de formă.

Dacă se pot stabili coeficienți pentru a exprima cantitativ în-



fluența diverșilor factori metalurgici sau geometrici asupra anduranței epruvetelor sau pieselor de forme simple, în cazul îmbinărilor și subansamblelor acest lucru nu mai este posibil. În ceea ce le privește, informarea este insuficientă și relativ dispersă. Astfel de încercări au fost organizate de Institutul Internațional de Sudură (I.I.S.) în vederea determinării valorilor limitelor de oboseală la eforturi axiale de tracțiune repetată și pentru două milioane de cicluri; aceste încercări au fost efectuate pe îmbinări sudate cap la cap din oțeluri sudabile utilizate în diferite țări, experimentările urmînd să fie extinse și la alte tipuri de îmbinări sudate. Principalele rezultate obținute au fost publicate pe parcurs în revistele de specialitate.

Simultan, atenția Institutului Internațional de Sudură s-a concentrat pe procedeele de recomandat pentru a îmbunătăți rezistența la oboseală a îmbinărilor sudate; recomandări privind îmbunătățirea anduranței pieselor și subansamblelor sînt, de asemenea, stabilite de către diferite organisme naționale.

Batelle Memorial Institute a publicat succesiv pentru Departamentul Naval, în anul 1941 o lucrare intitulată "Prevention of the failure of metals under repeated stress"<sup>1)</sup>, apoi în 1954 o lucrare intitulată "The fatigue of metals and structures"<sup>2)</sup>, adusă la zi în anul 1960.

Practica a dovedit că este extrem de util să se recurgă la analiza ruperilor prin oboseală în serviciu a pieselor de mașini. O anchetă internațională, organizată de I.I.S., a reunit în lucrarea intitulată "Ruperi prin oboseală în construcțiile sudate" 50 de monografii asupra unor ruperi în serviciu. Într-o manieră analoagă, British Engine Boiler and Electric Insurance Co. Ltd. analizează, în rapoartele sale tehnice anuale, accidentele provocate de ruperi în serviciu, din care un număr însemnat se datorează oboselii.

Dacă pentru majoritatea pieselor de mașini informațiile obținute prin încercările de oboseală trebuie să permită să se atingă durerile de serviciu dorite, în cazul subansamblelor și structurilor complexe acest lucru nu este posibil. În aceste cazuri, trebuie să se țină seama de variația repartiției locale a tensiunilor, în timpul serviciului, determinată de fenomenele de adaptare, de schimbările din distribuția eforturilor între diferitele elemente și de descentrarea lor, ca urmare a deformărilor posibile și, în sfîrșit, de posibilitățile de corodare prin contact, ce pot da naștere la fisuri, care în alte condiții nu ar fi critice.

Din această cauză, în cazul celulelor de avion s-au încer -

- 1) Prevenirea distrugerii metalelor sub tensiuni repetate
- 2) Oboseala metalelor și structurilor



cat la oboseală elemente de structură și subansamble complete. Se pare că se poate considera că, totuși, dacă durata de viață a elementelor depășește pe aceea fixată pentru ansamblu, aceasta se va repeta și în cazul celulei complete. Este, însă, evident necesar să se poată reproduce pe fiecare element solicitările pe care le va suferi în serviciu, în cadrul structurii complete.

Se admite, de exemplu, că factorul de concentrare, echivalent la o celulă completă de avion, este de ordinul a 3,5 și că limita sa de oboseală ar fi egală cu 30% din aceea a metalului întrebuintat la construcția sa. Este suficient, în acest caz, ca proiectantul să se asigure - prin analiză și prin încercări la oboseală - ca pe fiecare element coeficientul de concentrare a tensiunilor să fie sensibil mai mic ca 3 pentru a nu mai fi nevoie să se efectueze alte încercări decât pe celula completă.

### 3.5.2. Îmbunătățirea metodelor de dimensionare a pieselor

Calculul de rezistență al unei piese sau al unui subansamblu s-a mărginit - până în prezent - să utilizeze formulele teoriei elementare a rezistenței materialelor, care neglijează influența atât de importantă a creșterilor locale de tensiune, determinate de schimbări bruște de secțiune și de prezența efectelor de încreștere. În plus, se caracterizează capacitatea de încărcare a materialului prin rezistența de rupere la tracțiune sau limita de curgere aparentă.

Un pas înainte constă în a ține seama de diferența dintre calculul realizat în acest fel și comportarea observată în serviciu, prin introducerea unui anumit coeficient de siguranță. Acest coeficient experimental trebuie, în principiu, să țină seama de următoarele:

- estimarea inexactă a forțelor care acționează asupra piesei; în mod deosebit, eforturile aplicate prin șoc, eforturile de inerție etc., care sînt dificil accesibile calculului, și tensiunile datorate montajului, dilatărilor sau sudurii;

- neglijarea creșterilor locale de tensiuni - de regulă foarte importante - determinate de efectele de încreștere, precum și a insuficiențelor sau imperfecțiunilor de calcul;

- diferența dintre maniera în care se comportă materialul la încercarea de tracțiune și în condițiile reale din serviciu (tensiuni variabile, stare de suprafață, coroziune etc.);

- diferențele între starea epruvetei utilizată la încercarea de tracțiune și cea a materialului în piesa reală, finită (defectele de fabricație, retușuri, segregatii, normalizare neomogenă etc.).

Coeficienții de siguranță servesc, în principal, la stabilirea



tensiunii admisibile; aceasta este tensiunea maximă, determinată prin formulele simple ale rezistenței materialelor, care poate fi atinsă. Imperfecțiunea modului de calcul - adoptat pînă în prezent - provine, însă, în principal, din aceea că coeficienții de siguranță n-au valoare decît strict în domeniul restrîns pentru care au fost verificați prin experiență și că, prin urmare, extinderea lor în alte condiții poate antrenă insuccese sau accidente. În acest domeniu nu există o bază solidă pentru a obține o securitate efectivă.

În conducerea calculului de rezistență la o piesă de mașini, proiectantul trebuie - înainte de toate - să cunoască forțele rezultante și momentele cuplurilor care le sînt aplicate. Dacă este vorba, cum este cazul aproape la toate piesele de mașini, de solicitări variabile sau care acționează prin șoc, va trebui ca înainte de a ataca calculul de rezistență să se determine evoluția în timp a forțelor exterioare. În acest caz, cele două limite între care evoluează acțiunea forței sînt preponderente pentru calcul.

În plus, proiectantul trebuie să se asigure pe deplin de existența posibilă a unor suprasarcini accidentale și, în plus, de cîte ori acestea amplifică sarcina normală. De asemenea, mai este necesar să se evalueze sarcinile adiționale, care rezultă din îmbinări sau din efectele de temperatură, și să se introducă, întotdeauna, în calcul ca valori limită ale forțelor exterioare, vîrfurile de sarcină cele mai ridicate ce se pot produce.

### 3.5.3. Determinarea tensiunilor în piese

Analiza condițiilor de lucru ale pieselor în serviciu permite proiectantului să cunoască mai exact natura solicitărilor aplicate (întindere, încovoiere, răsucire). Dacă aceste solicitări sînt variabile, trebuie, de asemenea, să cunoască legea lor de variație în timp. În sfîrșit, cînd piesele prezintă schimbări de secțiune este util să stabilească modul de repartizare a tensiunilor în diferitele puncte ale acestora și să determine eventualele vîrfuri de tensiune.

Problemele care se pun, în cazul unei piese determinate, sînt, astfel, de mai multe feluri:

- a. înregistrarea, în funcție de timp, a variației fiecărei tensiuni principale;
- b. determinarea repartiției tensiunilor, în stare statică, sub un efort dat;
- c. determinarea, în diferite puncte, a variației tensiunilor în timp.



Există numeroase metode de măsurare dinamică a tensiunilor și, în funcție de problemă, va trebui să se facă apel la una sau alta dintre ele.

Studiul deformațiilor pe care le suferă piesele constituite procedeul cel mai întrebuintat, în așa fel încât toate măsurările de forțe sau cupluri se reduc la măsurări de lungimi.

Deformațiile pot fi măsurate prin metode electrice, care se pretează ușor la înregistrarea tensiunilor rapid variabile: variația unui întrefier magnetic, variația capacității unui condensator în aer, variația rezistenței electrice a unui conductor alungit sub acțiunea tensiunii de măsurat. Această ultimă proprietate a fost pusă în valoare prin fabricarea "mărcilor tensometrice", care se fixează pe piesa de studiat.

Vîrfurile de tensiune, care se produc în anumite zone ale pieselor supuse eforturilor de oboseală, sînt dificil de calculat. S-au preconizat diferite procedee pentru a aprecia calitativ repartitia și cantitativ importanța și, de asemenea, pentru a studia variația lor periodică, în serviciu, pe piesă. Printre metodele de măsurare locală a tensiunilor se pot cita:

- măsurarea parametrilor cristalografici prin difracția razelor X;
- determinarea liniilor de alungire ce corespund izostaticeilor cîmpului de deformare, plecînd de la fisurile unui lac care crapă sub efectul tensiunilor;
- localizarea și măsurarea deformațiilor cu ajutorul lacurilor fotoelastice depuse pe piesă;
- studiul fotoelasticimetric pe o machetă transparentă;
- măsurarea deformațiilor statice cu ajutorul extensometrelor mecanice, electrice sau pneumatice;
- utilizarea mărcilor tensometrice de mici dimensiuni ale căror seranai este înregistrat pe un osciloscop catodic.

#### 3.5.4. Factorii de ameliorare a durabilității pieselor de mașini

Un număr mare de factori acționează în același timp asupra durabilității sub solicitări critice a pieselor și subansamblelor de mașini. Pentru a obține performanțe bune pe o piesă nouă sau pentru a le ameliora pe cele ale unei piese existente, este necesar ca proiectantul și tehnologul să știe să aleagă valorile ce trebuie acordate acestor diferiți factori, creșteri sensibile de durabilitate putînd fi obținute, fără cheltuieli excesive, acționînd simultan asupra unora dintre ei.



Acești factori pot fi grupați în patru categorii: factori de ordin metalurgic, factori de ordin geometric, factori referitori la starea suprafeței și, în sfârșit, acela care privesc condițiile de întrebuințare.

#### 3.5.4.1. Factorii metalurgici

Aceștia au în vedere, mai întâi, alegerea mărcii de oțel și stabilirea caracteristicilor sale mecanice, adică a tratamentului mecanic sau termic ce trebuie aplicat. Așa cum s-a arătat, cel mai adesea trebuie să se țină seama nu numai de sarcina de rupere a metalului, ci și de sensibilitatea sa la încreștere.

Printre factorii metalurgici mai trebuie menționată prezența defectelor interne, segregărilor și incluziunilor, suflurilor și retasurilor, fulgilor etc., asupra cărora se poate acționa fie adoptând un mod de elaborare potrivit problemei de rezolvat, fie efectuând controale nedestructive prin care să se poată alege din material o regiune suficient de sănătoasă.

Trebuie, în sfârșit, considerate, în această categorie de factori o serie de defecte de prelucrare ca: fisurile de forjare, defectele de laminare, crăpăturile de călire, arderile sau topirile locale datorate supraîncălzirilor, pe care un control îngrijit permite a le repara și evita. În alte cazuri, ca de exemplu cel al fibrajului pieselor forjate, un studiu atent al forjării și prelucrării finale va permite să se pună în valoare această proprietate, care altfel poate fi o cauză de rupere prematură.

#### 3.5.4.2. Factorii geometrici

Acești factori privesc calculul și configurația pieselor. Efectul de scară arată că există interesul, din punct de vedere al duranței, de a avea piese de diametre mici, cu un gradient puternic de tensiune și un raport "volum/suprafață" cât mai favorabil posibil.

Efectul de încreștere este unul din factorii cei mai importanți, în practică, deoarece nu există piese fără concentrări locale de tensiune. Acestea sînt provocate de creștături, filete, racordări, mușchii, găuri, renuri, gulere, umeri, cordoane de sudură etc.

#### 3.5.4.3. Condițiile de suprafață

Cum în majoritatea cazurilor ruperile prin oboseală se amorsează la suprafața pieselor, factorii care condiționează natura, ca-



litatea sau protecția acestei suprafețe vor acționa, evident, asupra durabilității piesei.

În felul acesta, trebuie mai întâi să se țină seama de durata suprafeței piesei în timpul serviciului, fie că aceasta a fost înmuiată nedorit printr-o decarburare produsă în cursul unui tratament termic efectuat fără precauții suficiente, fie că a fost intenționat durificată printr-un tratament termic de călire, printr-un tratament chimic de difuziune (cementare, nitrurare, carbonitrurare etc.) sau printr-un tratament mecanic (roluire, alicare etc.). În general, este recomandabil să se aplice acest ultim tratament de durificare pentru a dezvolta în piesă tensiuni favorabile, care vor permite să se mărească durata de viață.

Printre factorii, a căror importanță este prea des neglijată în ceea ce privește buna comportare a pieselor, care lucrează la oboseală, trebuie menționată calitatea suprafeței. Durabilitatea este semnificativ îmbunătățită în cazul unei prelucrări îngrijite, care să asigure buna finisare a suprafețelor. Dar pentru a păstra avantajul unei stări convenabile de suprafață este indiscutabil necesar să se evite orice deteriorare în timpul operațiilor de marcă, control, transport și montaj. Albușele ruperilor prin oboseală abundă în piese corespunzătoare ale căror rupeuri accidentale se datorează amprentelor de marcă la rece, amprentelor de duritate, zgârieturilor rău plasate etc.

În aceeași ordine de idei, este necesar să se atragă atenția, în mod deosebit, asupra reparațiilor efectuate prin sudare. Dacă aceasta restabilește integritatea formei sau a secțiunii, ea introduce, cel mai adesea, efecte geometrice de concentrare a tensiunilor și tensiuni reziduale, care modifică caracteristicile mecanice locale ale piesei sau subansamblului.

De asemenea, precauții deosebite trebuie luate în cazul pieselor supuse la tensiuni ciclice. Din acest punct de vedere, ciocănirea sau dăltuirea cordoanelor de sudură, ca și încălzirea locală în zone judicioase alese, ca de exemplu extremitățile cordoanelor, au efecte pozitive deosebite.

În sfârșit, piesele care lucrează într-un mediu mai mult sau mai puțin agresiv trebuie protejate eficient la suprafață. Diferitele soluții propuse (acoperiri protectoare, inhibitori de coroziune, durificare și pretensionare superficială, lubrifianti etc.) se referă, în principal, la protecția contra atmosferei oxidante (aer, aburi), mediilor corozive (ceață marină) ca și a coroziunii de contact, care intervine într-un număr considerabil de cazuri.



#### 3.5.4.4. Condițiile de funcționare

Dacă condițiile generale de serviciu sînt impuse și, prin urmare, nu pot fi modificate, nu același lucru se întîmplă și cu un număr mare de factori secundari, a căror existență poate provoca o diminuare imprevizibilă a duratei de viață a pieselor și subansamblelor de mașini.

Astfel, proiectantul și tehnologul trebuie să asigure evitarea sau cel puțin atenuarea, în măsura posibilului, a frecvențelor parazite introduse prin vibrații, jocuri de montaj, rezonanțe, care pot fi însoțite de tensiuni ce nu pot fi neglijate.

Suprasarcinile temporare provoacă efecte dăunătoare deosebit de periculoase, care - în funcție de condițiile existente - pot da naștere unor procese grave și ireversibile de deteriorare a piesei, diminuîndu-i sensibil durata de viață. În schimb, perioade de repaos și, mai ales, menținere la tensiuni relativ joase pot ameliora durabilitatea. Aceste considerații permit să se degaje posibilitățile unui "antrenament la oboseală" a piesei, care contribuie la creșterea durabilității ei și, totodată, permite să se efectueze, în cele mai bune condiții, prima punere în funcțiune, un rodaj rațional și, într-o manieră mai generală, demarările instalațiilor.

Dacă intervine factorul temperatură, trebuie să se țină seama de posibilitățile de oxidare sau apariție a fluajului, care diminuează durabilitatea.

În sfîrșit, se poate acționa asupra condițiilor în care lucrează plesa, fie modificînd natura mediului care scaldă suprafața sa, fie protejînd această suprafață, cum s-a arătat mai sus, pentru a evita sau întîrzia apariția fenomenului de coroziune.

#### 3.5.5. Îmbunătățirea durabilității în serviciu a pieselor de mașini

În cele ce urmează, urmărim să demonstrăm proiectanților, folosind ca exemplu arborele cotit (vilbrochen), cum poate fi ameliorată durabilitatea în serviciu a pieselor de mașini.

Acest lucru, evident nu este posibil decît după un studiu morfologic al casurii și o analiză a condițiilor de lucru, care trebuie să permită eliminarea cauzelor ruperilor prin oboseală.

Una din manierele cele mai simple pentru îmbunătățirea durabilității unui arbore cotit constă în mărirea razelor de racordare a manetanelor și a flanșelor.

Dacă acest lucru nu este posibil, rezultate bune pot fi obținute și practicînd o ecruisare superficială a metalului prin roluire sau alicare în regiunea racordării.



Thum și Badow indică următoarele rezultate obținute pe un arbore cotit de motor, de formă curentă, din oțel C 45, ale cărui manetone au un diametru de 45 la 48 mm și o rază de racordare de 3mm (tabelul 3.2 ).

TABELUL 3.2

| Tipul solicitării | Limita de oboseală, $N/mm^2$ |            |
|-------------------|------------------------------|------------|
|                   | fără roluire                 | cu roluire |
| încovolere        | 120                          | 170        |
| răsucire          | 105                          | 140        |

O îmbunătățire a durabilității poate fi, de asemenea, obținută prin pretensiuni de semn favorabil, ca acelea care se dezvoltă prin transformarea martensitică, superficială, după încălzire cu curenți de înaltă frecvență și călire.

Totuși, pentru că dezvoltarea tensiunilor de compresiune antrenează în mod obligatoriu, în zonele adiacente ale piesei, tensiuni de întindere defavorabile, este necesar să se evite ca acestea să acționeze în regiuni periculoase, ca, de exemplu, la începutul zonelor de racordare. În felul acesta, dacă este vorba de durificarea superficială a deschiderii fusului la un vilbrochen, durificarea trebuie să se efectueze pe întreaga zonă de racordare sau să se oprească destul de departe de aceasta, astfel încât să nu se dezvolte eforturi de întindere (fig. 3.20).

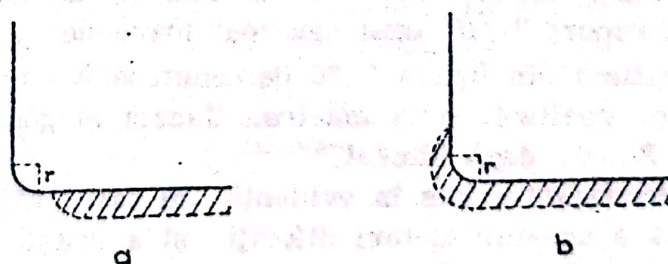


Fig.3.20. Zone de durificare (hașurate) care nu afectează anduranța racordării (a) sau, din contră, o îmbunătățește(b)



Cadillac a demonstrat că, pentru arborii cotiți de automobile, degajările de descărcare din dreptul racordării manetoanelor măresc cu 40% momentul de încovoiere ce corespunde limitei de oboseală la încovoiere repetată; acesta este mărit cu încă 60% prin ciocănirea degajărilor practicate. În acest fel, duranța este dublată prin aplicarea conjugată a acestor două soluții (fig. 3.21).

Când construcția nu permite să se prevadă o racordare de rază mare, se poate recurge la soluția degajărilor de descărcare. Ameliorarea este, în acest caz, mult inferioară celeia obținută prin racordări cu raze suficiente. Pentru arborii cotiți se utilizează cu succes practicarea de degajări în flanșele manetoanelor prin care se asigură o descărcare a zonelor respective (fig. 3.22 și 3.23).

Ținând cont de repartiția liniilor de forță din maneton și din cotul vilbrochenului se poate ajunge la o configurație geometrică mai favorabilă din punct de vedere al durabilității. În cazul vilbrochenului cu configurație clasică, liniile de forță sînt deviate prin două schimbări bruște de direcție, provocînd concentrări puternice de tensiune (fig. 3.24 a).

Găurind arborele cotit, liniile de forță sînt mai disipate și se etalează mai întîi în secțiunea flanșei (fig. 3.24 b). Practicînd o degajare în flanșe, repartiția liniilor de forță este și mai bună (fig. 3.24 c). În sfîrșit, mărind flanșa și eliminînd materialul din zona în care fluxul de forță este deviat (fig. 3.24 d), se evită vîrfurile de tensiune de la racordări.

Incerări de oboseală la răsucire repetată au fost făcute de Mickel pe fusuri care prezintă un umăr sau un cot (fig. 3.25) pentru a studia influența razei de racordare. Rezistența la oboseală, obținută în cazul cotului, este întotdeauna inferioară celeia obținută în cazul umărului, pentru o aceeași rază de racordare. Influența razei nu se mai exercită la un raport " $r/d$ " egal sau mai mare de 0,40.

Graficul din figura 3.26 demonstrează ameliorarea duranței la răsucire, realizată prin mărirea flanșei și găurirea fusului, în cazul oțelului St 60, după Mickel.

Lurenbaum a pus în evidență în cazul vilbrochenelor influența favorabilă a acestor factori diferiți și a reușit să tripleze rezistența la răsucire alternantă a acestora (fig. 3.27), fără a le modifica dimensiunile principale. Fusul, găurit în butoiș cu o formă ovoidă deschisă la extremitățile sale, prezintă o rezistență dublă la oboseală față de cel de formă normală.

Experiența a demonstrat că există interesul de a avea o anumită acoperire superficială care crește rigiditatea vilbrochenului și



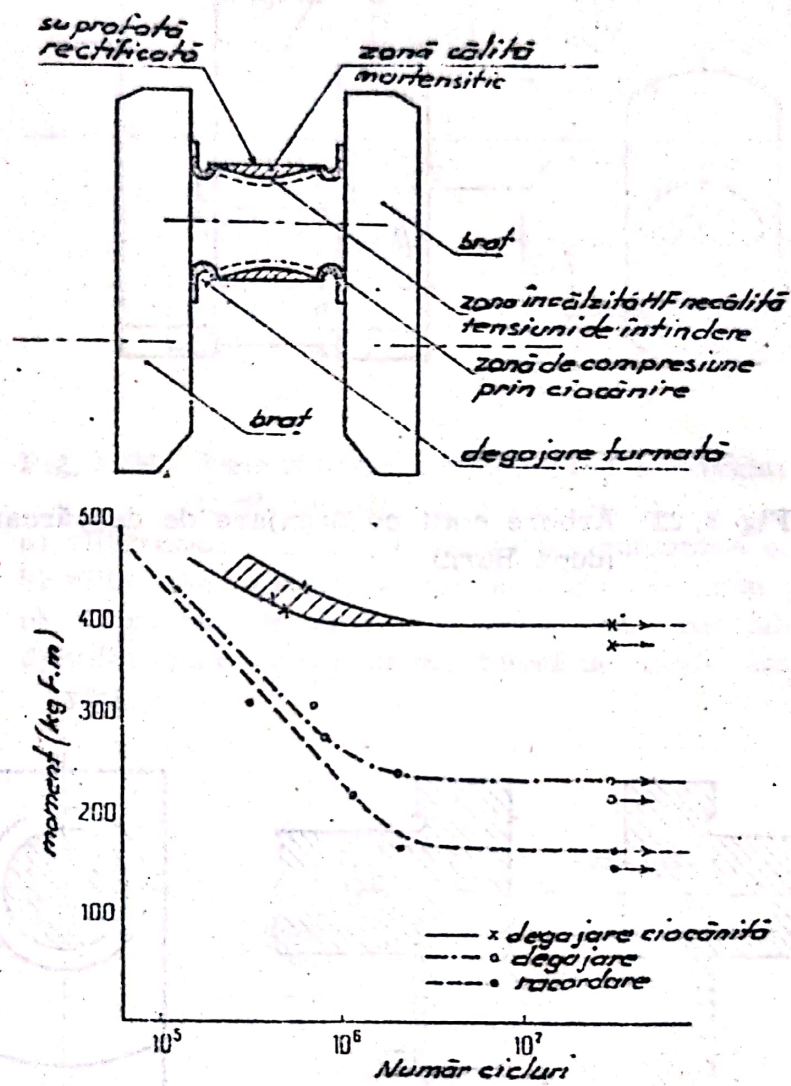


Fig. 3.21. Curbe de duranță la încoviere repetată ale elementelor de vilbrochen tratate diferit



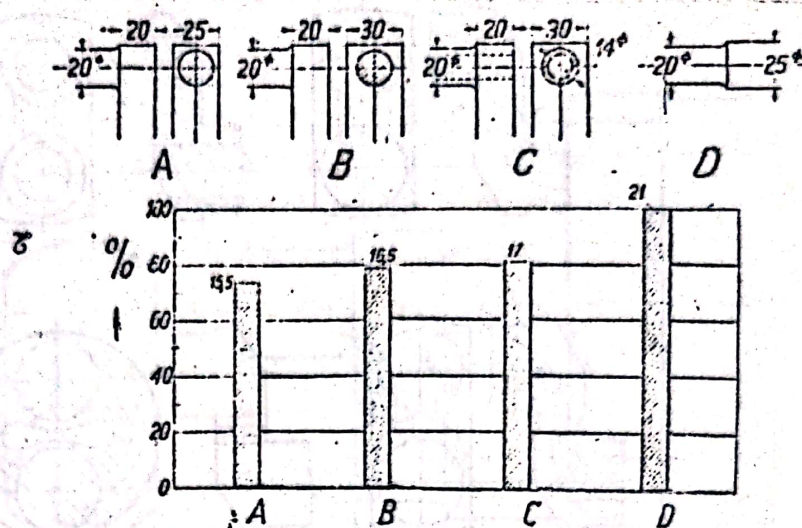


Fig. 3.26. Îmbunătățirea limitei de oboseală la răsucire a coturilor prin modificarea formei lor

- A. forma primitivă cu fusuri pline;  
 B. flanșa lărgită cu 25...30mm;  
 C. fus găurit; D. fus rotund cu umăr care corespunde lățimii flanșei

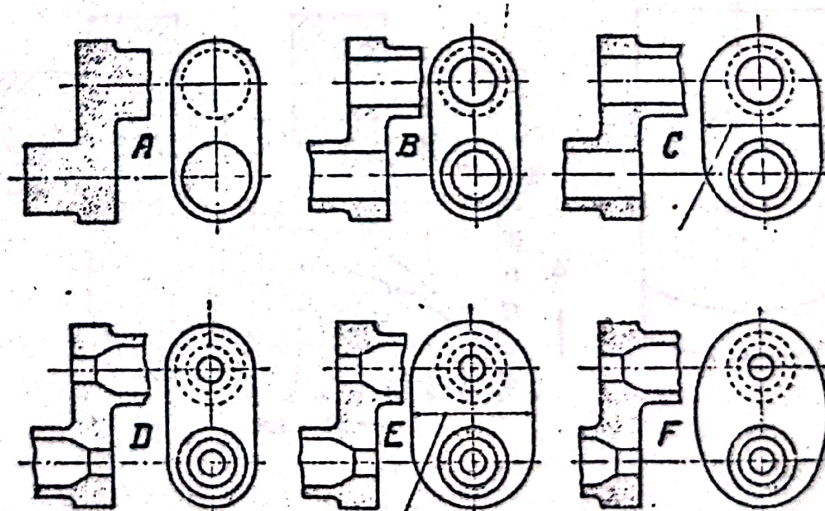


Fig. 3.27. Încercări de rezistență efectuate pe arbori cotiți de mărime naturală, cu ajutorul unei mașini de răsucire alternantă (ST 60 cu 65 kgf/mm<sup>2</sup> rezistență la răsucire alternantă)



atenuează devierea liniilor de forță în zona cotului. Figura 3.28 arată că este suficientă o mică mărire a grosimii stratului de protecție superficială pentru a ameliora simțitor durabilitatea.

În cazul vilbrochenelor forjate s-a căutat să se orienteze cât mai bine posibil fibrele metalului în direcția tensiunilor. În acest sens, procedeul "fibrăului integral" determină o ameliorare cu 15% a limitei de oboseală și o economie de metal de 10 la 35%.

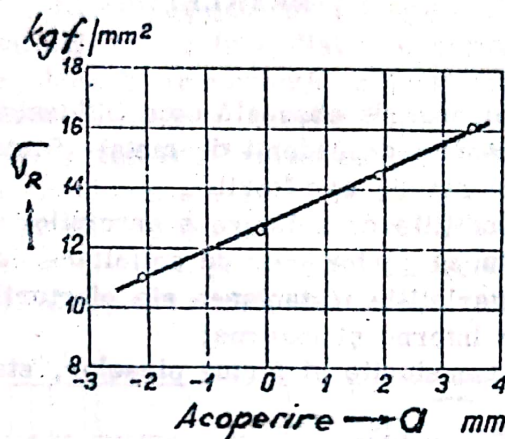


Fig. 3.28. Efectul unei acoperiri crescînde asupra duranței la încovoiere a unui vilbrochen

În general, există interesul să se dispună canalele de ungere în regiunile cele mai puțin încărcate ale arborelui cotit și în direcția liniilor de forță (fig. 3.29).

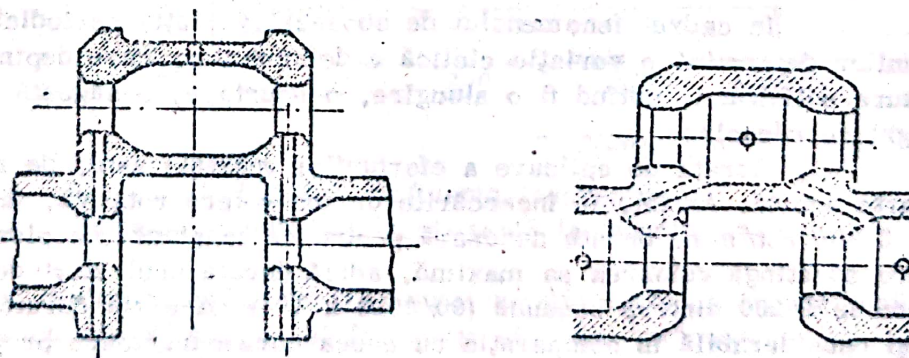


Fig. 3.29. Dispunerea canalelor de ungere în flanșe, cu fusurile găurite în zone restrînse



## CAPITOLUL 4

### INFLUENȚA DIVERȘILOR FACTORI ASUPRA OBOSELII METALELOR

Fenomenul de oboseală este influențat în desfășurarea sa de numeroși factori independenți de metal. Dintre aceștia pot fi amintiți, ca mai importanți, următorii:

- condițiile de aplicare a sarcinilor (frecvența tensiunilor ciclice, succesiunea perioadelor de solicitare cu cele de repaos, suprasarcinile și variațiile instantanee ale eforturilor) și nivelul solicitărilor tensiunilor interne și externe;

- dimensiunile și forma pieselor, starea și natura suprafeței lor;

- temperatura;

- acțiunile chimice (coroziunea, oxidarea prin frecare).

În cadrul acestui capitol se prezintă principalele concluzii ce se degajă din numeroasele cercetări efectuate în domeniu.

#### 4.1. Influența modului de aplicare a solicitărilor

##### 4.1.1. Influența frecvenței solicitărilor

În cadrul fenomenului de oboseală, variația periodică a tensiunilor determină o variație ciclică a deformației, care depinde de natura solicitării, putând fi o alungire, o scurtare, o săgeată sau un unghi de răsucire.

Durata de aplicare a eforturilor maxime este, de regulă, foarte scurtă. Astfel, în încercările de încovoiere rotativă, la viteza de 3 000 rot/min, durata necesară pentru ca tensiunea ce pleacă de la zero să atingă valoarea sa maximă, adică durata unui sfert de ciclu este de  $1/200$  dintr-o secundă ( $60/3000 \times 1/4$ ). Această durată este totuși considerabilă în comparație cu aceea corespunzătoare propagării efortului<sup>x)</sup> și influența sa asupra amplitudinii tensiunii alternante este

<sup>x)</sup> Viteza de propagare a efortului este egală cu cea a propagării sunetului în metalul considerat.



neglijabilă. Nu același lucru se întâmplă, însă, și în cazul duratei necesare propagării deformărilor.

Ca regulă generală, la temperatura ambiantă, creșterea frecvenței solicitărilor ciclice determină mărirea rezistenței metalului la oboseală, deoarece micșorându-se durata de aplicare a sarcinii maxime se diminuează și deformarea rezultată, ca urmare a fenomenului de histerezis mecanic. Această influență va fi cu atât mai accentuată cu cât frecarea internă a metalului este mai ridicată. Totuși, mărind prea mult frecvența, căldura degajată prin fenomenul de histerezis nu mai este eliminată satisfăcător prin radiație și convecție, ceea ce poate provoca o încălzire locală, importantă, a metalului, diminuând rezistența sa la oboseală, ca efect al temperaturii.

În practică, rezistența la oboseală nu este influențată de frecvența solicitărilor când aceasta se situează între limitele uzuale de 10-300 cicluri/s. Odată cu depășirea valorii de 300 cicluri/s, rezistența la oboseală începe să crească pe măsură ce frecvența se mărește (figurile 4.1 și 4.2). Creșterile sînt, de regulă, mici (5-10%) și de-

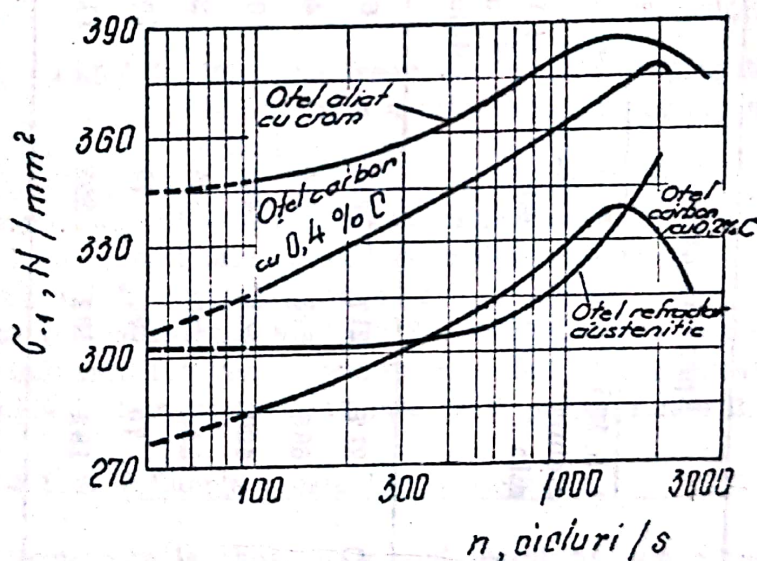


Fig. 4.1. Influența frecvenței asupra rezistenței la oboseală la diferite oțeluri

pind de material, influența frecvenței manifestându-se cu atât mai pu-  
ternic, cu cât solicitarea și frecvența sînt mai ridicate.

În tabelul 4.1 se prezintă - de asemenea - date referitoare la influența frecvenței de variație a solicitărilor asupra rezistenței la oboseală pentru diferite materiale.



TABELUL 4.1

Rezistența la oboseală  $N/mm^2$  a diferitelor materiale metalice, în funcție de frecvența solicitărilor (cicluri/min)

| Materialul            | Epruvete netede                  |                              |                                | Epruvete cu creștătură în formă de V |                               |                                                                            |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                       | 1,5.10 <sup>3</sup> cicluri/min. | 10 <sup>4</sup> cicluri/min. | 3.10 <sup>4</sup> cicluri/min. | 10 <sup>4</sup> cicluri/min          | 3.10 <sup>4</sup> cicluri/min | Creșterea în % a rezistenței la oboseală la 3.10 <sup>4</sup> cicluri/min. |
| Oțel carbon cu 0,2% C | 217                              | 217                          | 231                            | 154                                  | 175                           | 135                                                                        |
| 41 MoCr 11            | 686                              | 693                          | 714                            | 322                                  | 329                           | 20                                                                         |
| Oțel inoxidabil       | 420                              | 441                          | 463                            | 182                                  | 196                           | 80                                                                         |
| OL 70                 | 350                              | 350                          | 357                            | 182                                  | 189                           | 40                                                                         |
| Fontă cenușie         | 70                               | 70                           | 77                             | 91                                   | 91                            | 0                                                                          |
| Fontă aliată          | 182                              | 182                          | 203                            | 154                                  | 168                           | 90                                                                         |



Un interes practic mai mare îl prezintă domeniul frecvențelor joase (sub 100 cicluri/min). Acesta coincide cu funcționarea pieselor ce suferă - în timpul exploatării - supraîncărcări. S.I. Ratner a observat o micșorare cu circa 10-13% a rezistenței la oboseală la în-

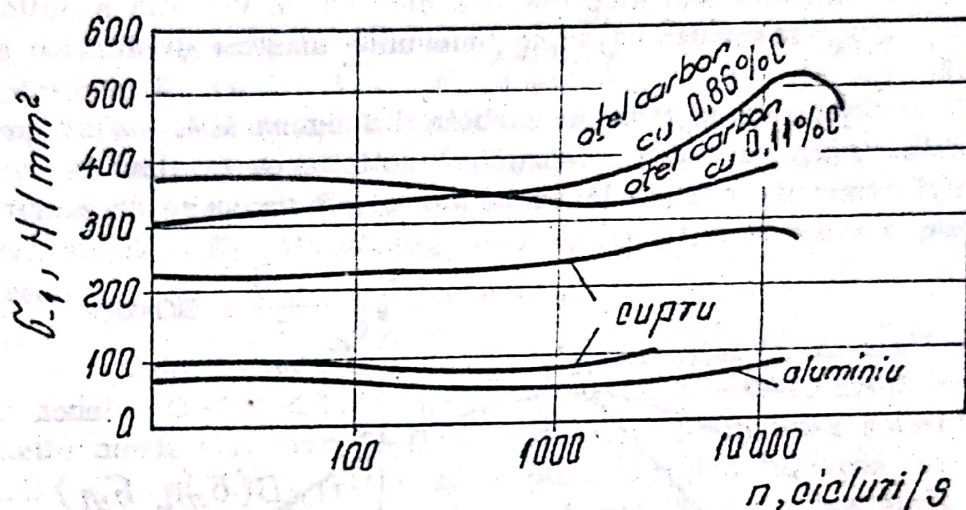


Fig. 4.2. Influența frecvenței asupra rezistenței la oboseală a diferitelor materiale metalice

tindere-compresiune alternantă, odată cu reducerea frecvenței de la 2 400 pînă la 8 cicluri/min. Astfel de căderi ale durabilității epruve - telor în domeniul frecvențelor joase, atît la oțeluri, cît și la aliajele de aluminiiu, au fost observate și de Iu.S. Danilov și N.V. Kadobnova.

Influența frecvenței asupra rezistenței la oboseală este mult mai accentuată la temperaturi ridicate (vezi paragraful 4.3.)

#### 4.1.2. Influența tensiunilor aplicate

Rezistența la oboseală a unui metal nu este o constantă. Ea poate fi crescută sau diminuată sensibil, în funcție de modul în care tensiunile sînt aplicate pieselor în serviciu.

##### 4.1.2.1. Gradul de asimetrie a ciclului

De obicei, relația dintre rezistența la oboseală și coeficientul de asimetrie a ciclului este prezentată grafic în două sisteme de coordonate:

- reprezentarea în coordonatele  $\sigma_m - \sigma_a$ , adoptată de



Haigh și

• reprezentarea în coordonatele  $\sigma_m - \sigma_{\max}, \sigma_{\min}$  adoptată de Smith.

În aceste două genuri de reprezentări,  $\sigma_m$  este tensiunea constantă sau tensiunea medie a ciclului de variație a solicitării,  $\sigma_a$  tensiunea variabilă sau amplitudinea ciclului de variație a solicitării, iar  $\sigma_{\max}$  respectiv  $\sigma_{\min}$  tensiunile maxime și minime ale ciclului.

Orice punct de pe curbele din figura 4.3, definit prin coordonatele  $\sigma_{mL}$  și  $\sigma_{aL}$ , reprezintă solicitarea maximă la care materialul respectiv rezistă la un număr oricât de mare de cicluri de solicitare.

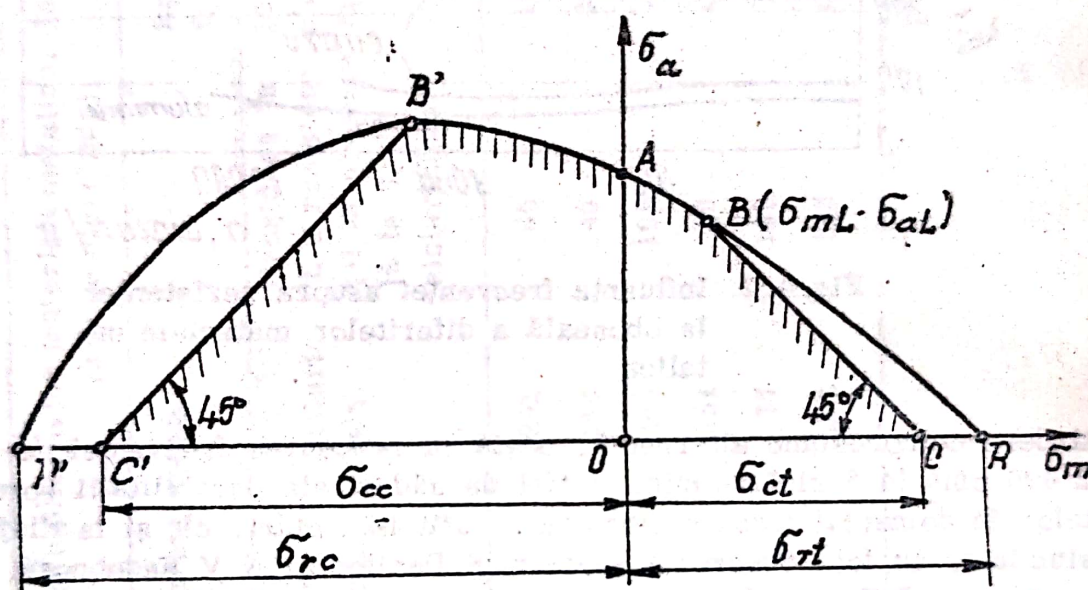


Fig. 4.3. Diagrama rezistențelor limită în coordonate  $\sigma_m - \sigma_a$

Se observă că, în domeniul compresiunii, rezistențele la oboseală prezintă valori mai ridicate decât în domeniul întinderii. Deoarece, însă, cele mai multe plese lucrează în zona solicitărilor medii pozitive, atenția a fost îndreptată îndeosebi asupra domeniului de întindere. Capacitatea portantă a materialelor fragile, supuse la solicitări statice, este determinată de rezistența lor la rupere, motiv pentru care, în acest caz, curbă limită pornește pe axa  $\sigma_m$  de la rezistența la rupere. În domeniul întinderii, curbă limită este ABR, iar în domeniul compresiunii - AB'R'. Dacă materialul este tenace, capacitatea portantă a materialului este determinată, la solicitarea statică, de limita sa de curgere. Curbă limită se construiește, prin urmare, cu ajutorul li-



mitel de curgere a materialului și este - în acest caz - ABC, respectiv - AB'C'.

Se poate ușor demonstra că orice dreaptă ce trece prin originea axelor de coordonate O este locul geometric al ciclurilor asemenea, avînd  $R = \text{const.}$  ( $R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ )

Rezistența la oboseală pentru un ciclu oarecare, cu gradul de asimetrie R, va fi  $\sigma_R = \sigma_{mL} + \sigma_{aL}$ , unde  $\sigma_{mL}$  și  $\sigma_{aL}$  reprezintă solicitarea medie limită, respectiv - amplitudinea limită.

Punctul A (O, OA) din figura 4.4 corespunde ciclului alternant simetric, deoarece  $\sigma_m = 0$ , iar  $OA = \sigma_a = \sigma_{\max}$ , în timp ce punctul M(OD, OE), din aceeași figură, corespunde ciclului pulsator, deoarece  $OD=OE = \frac{\sigma_0}{2} = \sigma_m = \sigma_a$

Valorile cele mai mari ale rezistenței la oboseală se situează în zonele  $0 < R < 1$ , respectiv  $+1 < R < +\infty$ , adică unde solicitările medii sînt mari în comparație cu amplitudinea solicitării  $\sigma_a$  (figurile 4.3 și 4.4). Ele scad treptat, atingînd valoarea minimă atunci cînd  $R = -1$ , demonstrînd că cel mai dezavantajos ciclu de solicitare din punct de vedere al rezistenței la oboseală este ciclul alternant simetric.

Deoarece construirea unei diagrame ca aceea din figura 4.3 presupune cunoașterea unor serii de valori ale rezistenței la oboseală stabilite pentru diverse grade de asimetrie -, ceea ce practic necesită lucrări experimentale laborioase, s-a trecut la simplificarea lor. Astfel, de exemplu, un mod de schematizare este prezentat în figura 4.4, în care curba limită experimentală s-a înlocuit cu o parabolă în zona AB și cu o dreaptă în zona BC.

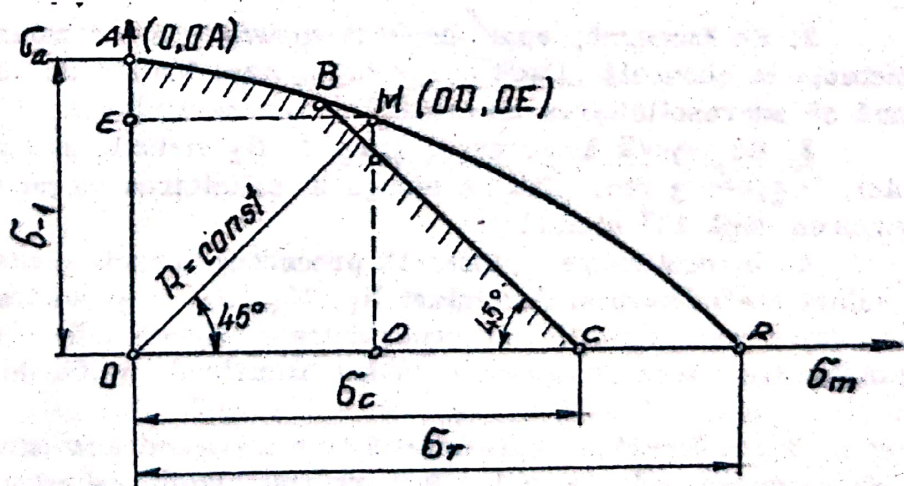


Fig. 4.4. Diagrama schematizată a ciclurilor limită în coordonate  $\sigma_m - \sigma_a$



Tratatele de Rezistența Materialelor prezintă numeroase date referitoare la modul de construcție a diferitelor tipuri de diagrame schematizate ale rezistențelor la oboseală și la folosirea acestora în calculul de rezistență.

#### 4.1.2.2. Suprasolicitările și subsolicitările de scurtă durată

Piese de mașini funcționează - cel mai adesea - sub sarcini sau regimuri variabile, care se traduc prin tensiuni și ele variabile ca amplitudine. Aceste tensiuni pot, în anumite momente și pe durate scurte, să depășească rezistența la oboseală a materialului. Asemenea cazuri se ivesc la pornire, la trecerea prin turația critică și la diverse alte manevrări. De aceea, este important să se cunoască rezistența la oboseală a metalului, în aceste condiții.

Experiența a arătat că, în general, aceste suprasolicitări determină micșorarea rezistenței la oboseală a materialului, efect cu atât mai accentuat cu cât suprasolicitarea este de valoare și durată mai mare.

Determinarea influenței cantitative a suprasolicitărilor asupra rezistenței la oboseală, în cazul diferitelor materiale utilizate în construcția de mașini, constituie o problemă relativ dificilă prin volumul mare de încercări necesare. S-a recurs atunci, pentru simplificarea, la determinarea curbei limită a suprasolicitărilor nepericuloase. Curba limită a suprasolicitărilor nepericuloase se determină în următorul mod:

1. Se încearcă epruveta sub tensiunea  $\sigma_1$  mai mare decât rezistența la oboseală a materialului, însă pe o perioadă de numai  $N_1$  cicluri.
2. Se încearcă, apoi, aceeași epruvetă la o tensiune egală cu rezistența la oboseală. Dacă epruveta se rupe înainte de  $10^7$  cicluri, înseamnă că suprasolicitarea anterioară a fost periculoasă.
3. Se repetă încercarea, timp de  $N_1$  cicluri, sub tensiuni mai mici  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  etc. până se ajunge la solicitarea ce nu mai produce ruperea după  $10^7$  cicluri.
4. În continuare, se repetă procedeul descris pentru mai multe valori ale numărului de cicluri  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ , ... și se trasează curba limită a suprasolicitărilor nepericuloase (figura 4.5 - dreapta b), cunoscută în literatura de specialitate sub numele de curba de deteriorare.

Curba limită a suprasolicitărilor nepericuloase (curba b din figura 4.5) corespunde cazurilor în care materialul respectiv poate suporta suprasolicitări o durată de timp indicată pe abscisa corespunzătoare.



toare, fără ca rezistența la oboseală să se micșoreze.

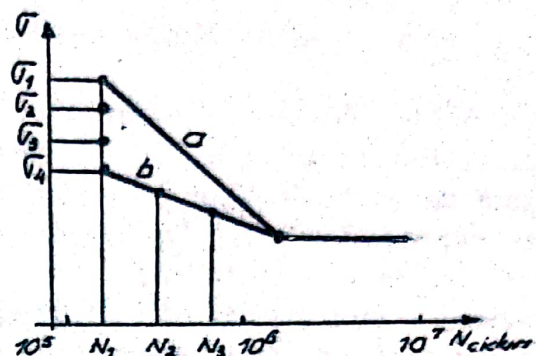


Fig. 4.5. Curba Wöhler (a) și curba limită a suprasolicitărilor nepericuloase

Odată cu suprasolicitarea apar două fenomene: ecrusarea și degradarea. Dacă suprasolicitarea depășește ca intensitate sau durată limita suprasolicitărilor nepericuloase, rezistența la oboseală scade, ca efect al degradării materialului. Dacă, dimpotrivă, suprasolicitarea nu depășește pragul suprasolicitărilor nepericuloase, ca mărime și ca durată, efectul preponderent va fi ecrusarea, iar rezistența la oboseală a materialului va crește. Curba limită a suprasolicitărilor nepericuloase poate fi definită și ca o limită în care cele două efecte, ecrusarea și degradarea se găsesc în echilibru. În baza acestor considerații, în figura 4.6, care prezintă diagrama de oboseală, se disting patru zone specifice.

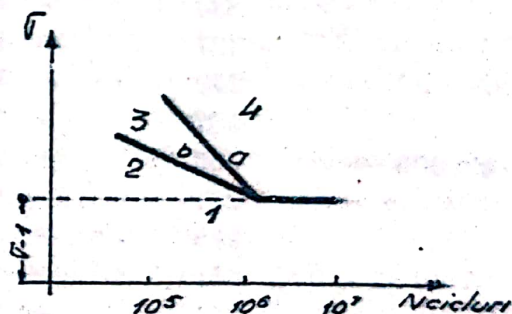


Fig. 4.6. Zonele caracteristice ale diagramei de oboseală

Zona 1 - zona durabilității nelimitate, în care efectul degradării este nul. Zona 2 - zona suprasolicitărilor mici și de scurtă durată, în care ecrusarea materialului depășește degradarea lui; creșterea numărului ciclurilor de solicitare duce la accentuarea efectului degradării. Zona 3 - zona de deteriorare propriu-zisă, în care orice



pereche de valori "suprasolicitare - durată" - reprezentată printr-un punct situat în cadrul zonei - produce o micșorare a rezistenței la oboseală. Zona 4 - zona corespunzătoare condițiilor pentru care toate epruvetele se rup.

Curba Wöhler (a) indică solicitarea la care ruperea se produce fără o suprasolicitare inițială. Cu cât curba de deteriorare (b) este mai apropiată de curba Wöhler (a), cu atât materialul respectiv suportă mai bine suprasolicitările. De obicei, oțelurile cu structură fină se comportă bine la suprasolicitări.

Kommers a demonstrat că aplicarea unei subsolicitări corespunzătoare poate avea un efect reparatoriu asupra degradării produsă de o suprasarcină. Astfel, pentru un oțel carbon cu un conținut de 0,27%C, o suprasarcină de 20%, adică  $282 \text{ N/mm}^2$ , timp de 40 000 cicluri, diminuează rezistența la oboseală  $\bar{\sigma}_R$  cu 8%. Cicluri de subsolicitări, ulterior aplicate, pot să crească  $\bar{\sigma}_R$  cu 12% în raport cu valoarea sa inițială, după cum arată datele din tabelul 4.2.

TABELUL 4.2.

| Supraîncărcarea inițială  |                  | Subîncărcarea ulterioară  |                                                |                  |
|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------------------------------------|------------------|
| Tensiunea $\text{N/mm}^2$ | Cicluri aplicate | Tensiunea $\text{N/mm}^2$ | % de tensiune față de $\bar{\sigma}_R$ inițial | cicluri aplicate |
| 282                       | 40 000 →         | 216                       | - 7,9                                          | 10 179 900 →     |
|                           |                  | 213                       | - 8,8                                          | 2 469 100 →      |
|                           |                  | 223                       | - 4,7                                          | 2 693 200 →      |
|                           |                  | 221                       | - 5,3                                          | 2 567 000 →      |
|                           |                  | 230                       | - 2,6                                          | 2 566 400 →      |
|                           |                  | 232                       | - 1,2                                          | 2 566 100 →      |
|                           |                  | 236                       | + 1,2                                          | 2 420 800 →      |
|                           |                  | 247                       | + 5,6                                          | 2 685 900 →      |
|                           |                  | 245                       | + 4,7                                          | 2 605 200 →      |
|                           |                  | 255                       | + 8,8                                          | 2 636 500 →      |
|                           |                  | 253                       | + 7,9                                          | 2 518 300 →      |
|                           |                  | 263                       | + 12,3                                         | 2 568 200 →      |
|                           |                  | 261                       | + 11,5                                         | 1 369 400 rupere |

Semnul → arată că epruveta nu s-a rupt și că încercarea a putut fi continuată

Subsolicitările inițiale, precum și pauzele din timpul funcționării mașinilor, au ca efect mărirea rezistenței la oboseală. Efectul obținut printr-o subsolicitare inițială, ce are ca urmare o creștere a



rezistenței la oboseală, este cunoscut - așa cum s-a arătat în capitolul 3 - sub numele de "efect de antrenare". Acest fenomen s-a observat în special la oțelurile moi. El poate fi amplificat prin încercări în trepte ascendente, de o durată anumită (cîteva sute de mii de cicluri), începînd cu solicitări situate imediat sub limita de oboseală a materialului respectiv. Prin efectul de antrenare se obțin creșteri ale limitei de oboseală pînă la circa 15%.

Încercări efectuate la IRSID pe un oțel aliat Cr-Mo, echivalent mărcii 33 MoCr 11, tratat pentru o rezistență de  $1500 \text{ N/mm}^2$ , au demonstrat că perioadele de oprire de scurtă durată (cîteva ore) nu au o influență semnificativă asupra rezistenței la oboseală. În cazul unor opriri de foarte lungă durată (mai multe luni) trebuie ținut seama, în plus, de eventualele efecte ale coroziunii atmosferice.

Pauzele la temperaturi superioare celei ambiante au fost studiate de către Daevs și colab. pe un oțel echivalent cu OL 37 și pe un oțel echivalent cu marca OL 60. În cazul primului oțel, o pauză de 20 minute (5 minute într-o baie de ulei la  $140^\circ\text{C}$  și 15 minute de răcire) a determinat o ameliorare netă, situată în jur de 57% dacă pauza este făcută după 40 000 cicluri, în jur de 90% dacă ea intervine după 20 000 cicluri și de 227% dacă intervine la capătul a 5 000 cicluri. În cazul oțelului OL 60, o pauză de 3 zile la temperatura ambiantă, intervenită după 12 200 cicluri, determină o ameliorare de 7%, iar la  $140^\circ\text{C}$  de 106%. Reducînd durata pauzei la 5 minute și 1 minut la  $140^\circ\text{C}$ , ameliorările sînt de 37% și respectiv 21%.

Dacă tratamentul la  $140^\circ\text{C}$  este aplicat înaintea punerii în sarcină, este necesar ca menținerea să dureze 84 zile pentru a obține o ameliorare care se situează, totuși, cu 27% sub cea pe care o dă o pauză de 5 minute după 10 000 cicluri; la  $210^\circ\text{C}$ , ameliorarea este și mai netă.

Ca o consecință practică a acestor rezultate, este avantajos să se recurgă la pauze, pe cît posibil la cald, în cazul pieselor ce au suferit tensiuni alternante importante.

Rezultatele prezentate își pot găsi explicația în fenomenele de îmbătrînire, care succed ecruisării, cărora li se atribuie precipitarea carburilor și nitrurilor în oțel și care, de altminteri, sînt însoțite de o creștere a rezistenței la rupere. O dovadă o constituie și faptul că procesul de antrenare se manifestă mai accentuat tocmai la metalele sensibile la îmbătrînire (oțeluri moi, diferite aliaje ușoare etc.).

În timpul funcționării mașinilor, o mare parte din piesele lor componente sînt supuse unor șocuri care se suprapun solicitărilor ciclice. Aceste șocuri acționează periodic și au un efect defavorabil în ceea ce privește durabilitatea pieselor. Solicitățile dinamice (șocurile)



apar, spre exemplu, din cauza jocurilor existente între piesele îmbinate, la trecerea materialului rulant peste joante, în mecanismele cu came etc. Șocurile acționează ca niște suprasolicitări repetate.

În calculele de dimensionare se obișnuiește să se țină seama de aceste șocuri prin introducerea unor coeficienți dinamici arbitrari, care de cele mai multe ori sînt departe de a reflecta situația reală. O metodă relativ exactă constă în măsurarea, prin metode tensometrice, a parametrilor reali ai ciclurilor de solicitare (inclusiv a efectului șocurilor) și efectuarea unui calcul adecvat spectrului de solicitări determinat.

O dimensionare foarte corectă se poate baza exclusiv pe determinarea experimentală a influenței solicitărilor dinamice asupra curbei de oboseală a materialului. Asemenea încercări se pot executa numai pe mașini de încercare speciale de tip "cu buclă închisă". Efectul suprasarcinilor repetate (șocuri) asupra rezistenței la oboseală se poate evalua din analiza figurii 4.7, în care se prezintă curba Wöhler în cazul unui oțel aliat, de înaltă rezistență, pentru piese tratate termic (0,4%C; 1,7%Ni; 0,75%Cr; 0,25%Mo), călit și revenit la o limită de curgere de 1 100 N/mm<sup>2</sup>.

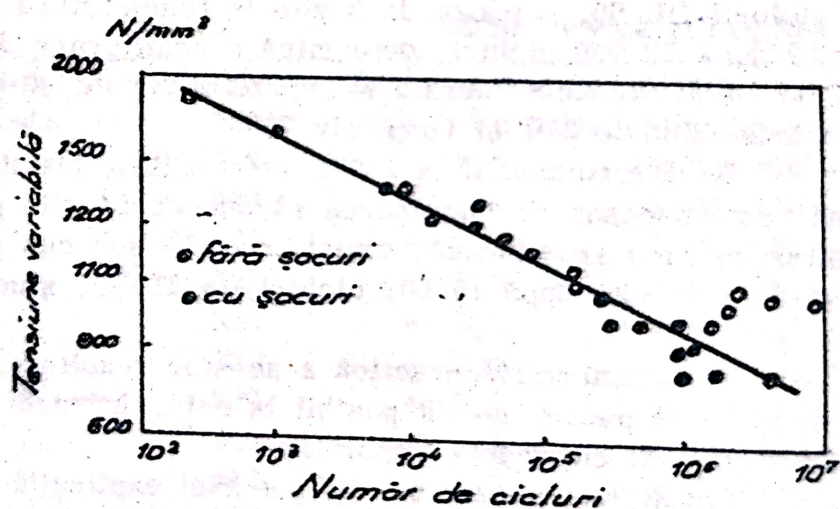


Fig. 4.7. Influența șocurilor asupra rezistenței la oboseală a unui oțel Cr-Ni-Mo îmbunătățit

#### 4.1.3. Efectul tensiunilor interne sau reziduale

Tensiunile interne se suprapun tensiunilor aplicate pentru a da tensiunea reală care se exercită într-un punct al piesei, în particular al suprafeței sale. Ele au, deci, o influență notabilă asupra re-



zistenței la oboseală.

Între tensiunile reziduale trebuie deosebite microtensiunile, care provin din neomogenitățile de microstructură și anizotropia diferitelor cristale, de macrotensiunile de origine externă, dezvoltate printr-o distribuție neuniformă a deformărilor și a temperaturii. În acest paragraf, ne referim exclusiv la influența macrotensiunilor reziduale de origine externă.

Aceste tensiuni pot constitui cauza ruperilor neprevăzute ale pieselor, dacă nu se ține seama - de la început - de mărimea și direcția lor. În anumite cazuri, din contră, tensiunile interne pot fi favorabile durabilității.

Principiile fundamentale ale punerii în valoare a efectelor pozitive ale tensiunilor interne au fost enunțate de J. Pomey, după cum urmează: "Dacă tensiunile sînt neomogene, este recomandabil să se conceapă piese neomogene, de așa manieră încît în fiecare punct structura să fie cea mai bine adaptată condițiilor locale de lucru. Prin tratamente convenabile va trebui să se dezvolte un sistem de tensiuni reziduale în echilibru intern, astfel ca rezultanta tensiunilor datorate forțelor exterioare aplicate în serviciu și pretensiunile dezvoltate de tratamente să constituie un sistem cît mai apropiat de solidul de egală rezistență".

#### 4.1.3.1. Tensiunile interne de origine mecanică

În majoritatea cazurilor, tensiunile interne - existente într-o piesă de oțel - afectează grav rezistența sa la oboseală. Numai tensiunile interne de compresiune de la suprafața pieselor pot îmbunătăți durata de viață la oboseală, în timp ce tensiunile remanente de tracțiune de la suprafața piesei reduc durata de viață la oboseală.

Redresarea pieselor deformate, de exemplu în cursul tratamentelor termice, este net defavorabilă rezistenței la oboseală, deoarece, admitînd că această redresare este efectuată perfect din punct de vedere geometric, se dezvoltă într-una din fibre tensiuni reziduale de tracțiune inevitabile. De altminteri, aceste tensiuni tind să se relaxeze în serviciu prin aplicarea tensiunilor de oboseală, în așa fel încît, finalmente, piesa tinde să revină la poziția inițială.

Dresarea la presă a unui vilbrochen, în vederea corijării unui defect de aliniament oricît de redus, de exemplu de o sutime de milimetru, poate reduce rezistența la oboseală cu 20%; o slăbire cu 30% a fost, de asemenea, observată în cazul redresării unor punți spate de automobil.

Efecte similare celor descrise sînt produse de trefilare, su-



dare sau șlefulire prin dezvoltarea unor tensiuni reziduale superficiale de tracțiune. În cazul utilizărilor care implică sarcini ciclice, piesele ce conțin tensiuni reziduale superficiale de tracțiune trebuie supuse unor tratamente termice de recăldere de detensionare.

Mărirea rezistenței la oboseală prin dezvoltarea unor tensiuni interne de compresie la suprafața pieselor se explică prin aceea că suprapunerea acestora peste tensiunile de tracțiune, rezultate din solicitările exterioare, descarcă zonele în care acționează aceste tensi-

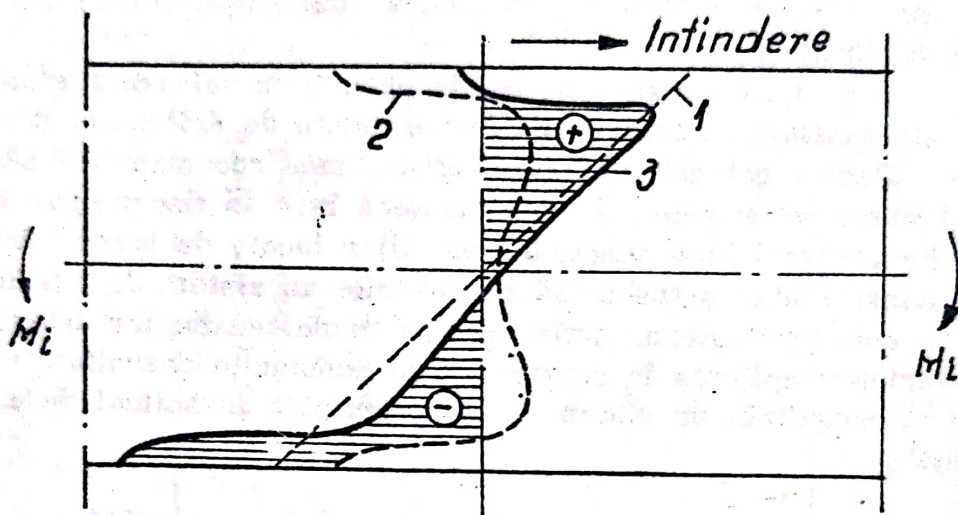


Fig. 4.8. Variația tensiunilor într-o piesă în care tensiunilor externe de tracțiune li s-au suprapus tensiuni interne superficiale de compresie

- curba 1 - variația tensiunilor datorită solicitării exterioare;
- curba 2 - variația tensiunilor interne de compresie dezvoltate prin tratamente superficiale;
- curba 3 - variația tensiunilor compuse.

uni, în special fibrele exterioare.

Aceasta se observă bine în figura 4.8. Rezultă că, în mod efectiv, se realizează un ciclu alternant asimetric având tensiunea medie situată în domeniul compresiei, unde rezistența la oboseală este mai mare (vezi figura 4.3.).

O posibilitate de a realiza pe cale mecanică durificarea superficială constă în rularea cu role sau bombardarea cu jet de alicie. O eficacitate deosebită a ecrusării superficiale se obține în cazul pieselor cu concentratori de tensiune și ea este cu atât mai mare cu cât concentrarea de tensiuni este mai puternică. De exemplu, șuruburile cu filetul rulat au rezistența la oboseală de circa două ori mai mare decât șuruburile cu filetul format exclusiv prin așchiere. Este de re - marcat că o ecrusare prea puternică conduce la formarea microfisuri-



lor, ceea ce determină o reducere a rezistenței la oboseală.

Prelucrarea cu jet de alicie - pe lângă efectele favorabile asupra rezistenței la oboseală - prezintă și următoarele avantaje:

- posibilitatea măririi rezistenței la oboseală a pieselor cu o formă complicată, fără ca în prealabil să necesite operații de finisare sau suprafinisare care sînt costisitoare;
- productivitate și eficacitate mare;
- cost redus al utilajului folosit.

Prin ecruisarea cu jet de alicie se obține o creștere a rezistenței la oboseală la majoritatea metalelor, dar efectul este mai pronunțat la oțelurile revenite la temperaturi joase, în special aliate (tratamente pentru obținerea de rezistențe foarte ridicate), cazuri în care se realizează creșteri ale rezistenței la oboseală de pînă la 40%. În cazul oțelurilor recoapte sau normalizate după ecruisare, eficacitatea tratamentului este practic nulă.

Efectul tratamentelor superficiale asupra rezistenței la oboseală este ilustrat și în figura 4.9, care prezintă curbele Wöhler determinate în cazul încercării la oboseală a epruvetelor și a arborilor cotiți executați dintr-un oțel aliat de înaltă rezistență (0,4%C; 1,7%Ni; 0,75%Cr; 0,25% Mo). Încercările au fost făcute comparativ în variantele: îmbunătățire, tratament cu alicie și nitrurare. Se constată că pentru cazul dat, efectul tratamentelor superficiale a fost mai mare pe piese decît pe epruvete, ceea ce se explică prin faptul că aceste tratamente urmînd fidel conturul piesei diminuează efectul decarburării produs de tratamentul de îmbunătățire efectuat în atmosferă oxidată.

Mattson și Roberts au demonstrat că tensiunile reziduale superficiale au un efect propriu, independent de ecruisajul introdus prin tratament superficial. Acest rezultat este observabil, în mod deosebit, în cazul oțelurilor de arc pentru care alicarea nu introduce practic ecruisajul superficial. Din contră, aplicînd o recoacere la 650°C prin care se elimină tensiunile reziduale, ei au demonstrat că sporirea rugozității suprafeței epruvetelor, datorită bombardării cu jet de alicie, diminuează valoarea rezistenței la oboseală.

Rezultate bune au fost obținute de către Thum și Manteuffel prin sablare, spre deosebire de alți cercetători care n-au obținut rezultate favorabile cu acest procedeu. Această contradicție poate fi explicată prin aceea că în timp ce Thum și Manteuffel au întrebuințat nisip nou, ceilalți au folosit nisip uzat. Grăunții de nisip nou au o energie cinetică mai mare decît grăunții de nisip uzat, dar unghiurile lor ascuțite pot crea creștături minuscule.



Toate procedeele descrise dezvoltă tensiuni de compresiune în stratul durificat; durificarea și pretensionarea superficială sînt două aspecte complementare ale aceluiași fenomen.

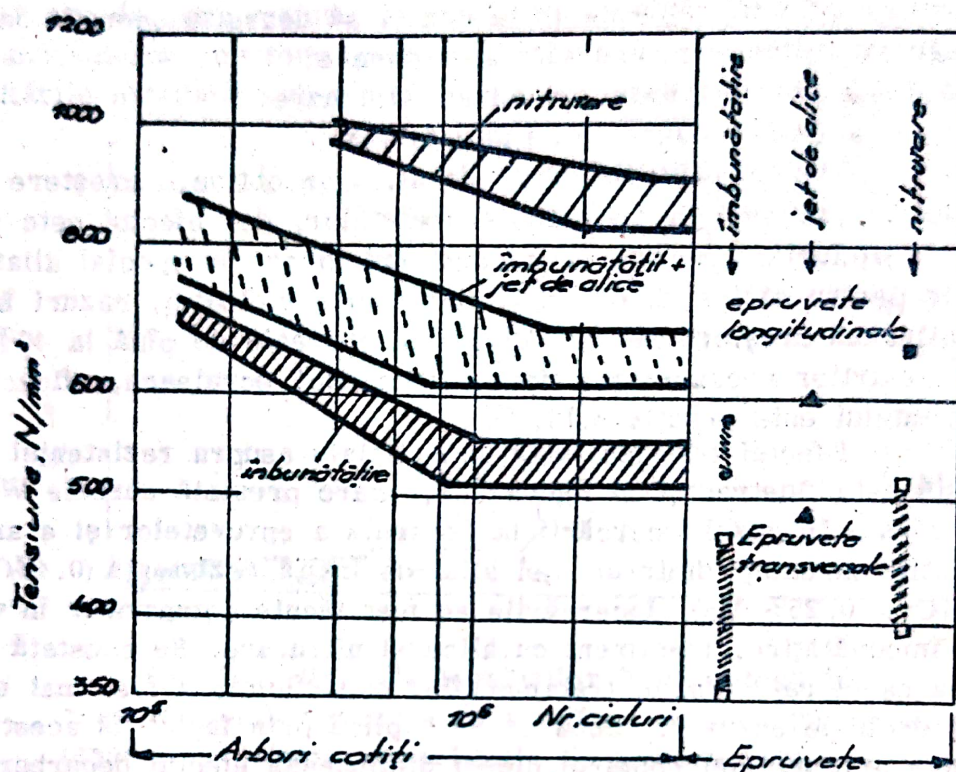


Fig. 4.9. Comparație între numărul de cicluri pînă la rupere al arborilor cotiți din oțel aliat și rezistența la oboseală a epruvetelor în cazul tratamentului de îmbunătățire și al tratamentelor superficiale cu jet de alică și nitrurare

#### 4.1.3.2. Tensiunile interne de origine termică

Influența tensiunilor interne datorate tratamentelor termice este, de asemenea, bine stabilită.

În procesul de cementare, nitrurare sau carbonitrurare, carbonul, azotul sau ambele sînt introduse în stratul de suprafață al piesei din oțel. Atomii solubili măresc rezistența stratului de suprafață al oțelului și măresc volumul său în raport cu metalul de sub acest strat. Invelișul și miezul piesei de metal cementate răspund diferit la același tratament termic. Pentru realizarea maximei eficacități a tratamentului de suprafață, stratul de la suprafață trebuie să fie mult mai subțire



decît grosimea plesel pentru a pune în valoare la cel mai înalt grad efectul tensiunilor reziduale.

Un alt tratament termic superficial - cu efecte favorabile asupra rezistenței la oboseală - este călirea superficială prin inducție. Pentru a se putea aplica, în mod eficace, este necesar ca oțelul folosit să conțină suficient carbon (0,30 - 0,40%). Acest tratament formează la suprafață un strat de martensită care, prin modificarea volumului față de miez, produce tensiuni reziduale de compresiune. În figura 4.10 se prezintă comparativ durata de viață a arborilor de transmisie confecționați din diferite mărci de oțel și tratați prin îmbunătățire, cementare sau călire superficială prin inducție.

Este de remarcat faptul că oțelul slab aliat (35 Mn 16), tratat în mod adecvat, conduce la rezultate mai bune ca un oțel aliat Cr-Mo la care s-a aplicat un tratament clasic. Se confirmă, și în acest

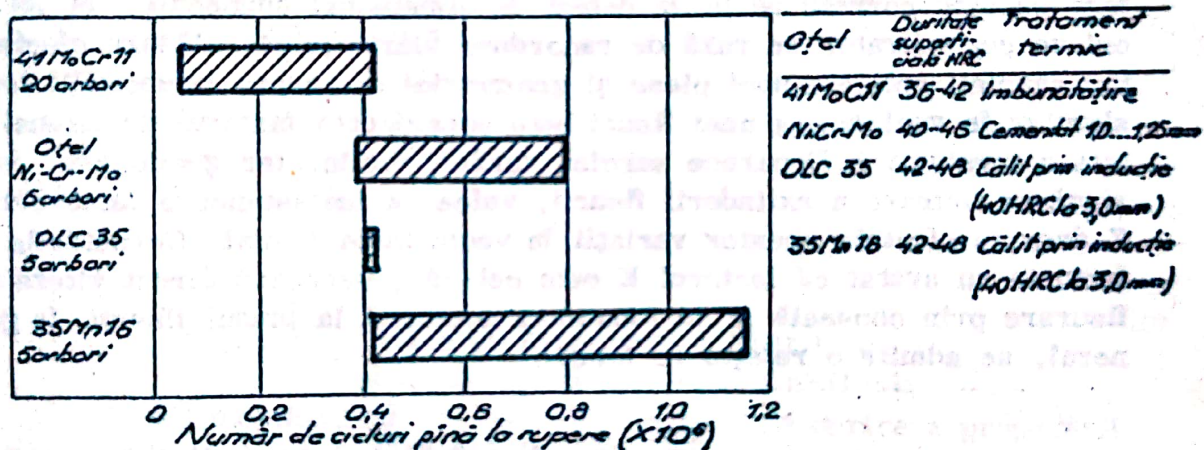


Fig. 4.10. Numărul de cicluri pînă la rupere al unor arbori de transmisie tratați în moduri diferite

caz, că pentru obținerea unei durabilități superioare nu este obligatorie folosirea de oțeluri bogat aliate. Principalele avantaje ale călirii prin inducție sau flacără asupra rezistenței la oboseală rezultă din faptul că: (a) miezul poate fi tratat termic pînă la duritatea corespunzătoare la adîncimi foarte variate; (b) procesele produc deformații relativ mici; (c), plesa poate fi prelucrată înaintea tratamentului termic.

#### 4.1.4. Influența solicitărilor în domeniul plastic

În zona concentratorilor, limita de curgere a materialului



este deseori depășită și se intră în domeniul plastic. Situația este caracteristică și pentru fenomenul de oboseală la un număr mic de cicluri (max.  $10^5$  cicluri).

Caracteristicile de oboseală, prezentate anterior, permit aprecierea calității unui material din punct de vedere global și luarea unor hotărâri în ce privește alegerea materialelor și calculul la oboseală. Durata de viață a epruvetei sau a piesei, solicitată la oboseală, cuprinde însă trei faze: a) inițierea unei fisuri; b) propagarea lentă a acestei fisuri; c) propagarea rapidă, urmată de ruperea brutală.

Încercările obișnuite la oboseală pot oferi date calitative referitoare numai la faza a treia, de rupere a epruvetei. Metodele mecanicii ruperii permit studiul cantitativ al stadiului al doilea și al treilea. În acest scop, se folosesc epruvete de tip special și încercările se efectuează pe mașini cu servovalvă cu buclă închisă. Studiul celor trei faze se face pornind de la un defect de dimensiuni cunoscute, de obicei un concentrator cu rază de racordare foarte mică. Măsură efectelor sarcinii aplicate unei piese și geometriei ei asupra intensității tensiunilor în vecinătatea unei fisuri este considerată factorul de intensitate a tensiunii  $K$ . Deoarece sarcina variază ciclic, iar geometria variază ca urmare a extinderii fisurii, valoarea instantanee a factorului  $K$  descrie efectele acestor variații în vecinătatea fisurii. Cercetările efectuate au arătat că factorul  $K$  este cel ce guvernează direct viteza de fisurare prin oboseală și nu tensiunea nominală la fundul fisurii. În general, se admite o relație de forma:

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta K)^m \quad (4.1)$$

în care  $da$  este variația lungimii fisurii pentru  $dN$  cicluri,  $\Delta K$  variația factorului de intensitate a tensiunii  $K$  în timpul unui ciclu, iar  $C$  și  $m$  constante caracteristice materialului.

Se începe încercarea și se determină perechile de puncte:  $a$  - lungimea fisurii și  $N$  - numărul de cicluri necesare obținerii fisurii respective. Se calculează factorul de intensitate a tensiunii, corespunzător lungimii fisurii respective, și variația acestuia în cursul unui ciclu de solicitare.

Rezultatele obținute prin aceste încercări sînt foarte sugestive în ceea ce privește desfășurarea fenomenului de oboseală. Astfel, în coordonate logaritmice, se trasează curba vitezei de fisurare  $da/dN$  în funcție de variația factorului de intensitate a tensiunii  $K$ . Spre exemplificare în figura 4.11 se prezintă diferite stadii de fisurare, în cazul unui oțel cu 0,35% C; 1,8% Cr; 3,8% Ni; și 0,46% Mo (îmbunătățit), solicitat la un ciclu pulsator.



În stadiul 1, de amorsare a unei fisuri de oboseală, un rol esențial îl are valoarea factorului  $K$  sub care nu mai are loc amorsarea sau propagarea fisurii. Aceasta deoarece sub o anumită valoare  $K_p$ , numită prag de propagare a fisurii, fisura nu se mai amorsează sau odată amorsată nu se mai propagă, indiferent de mărimea ei.

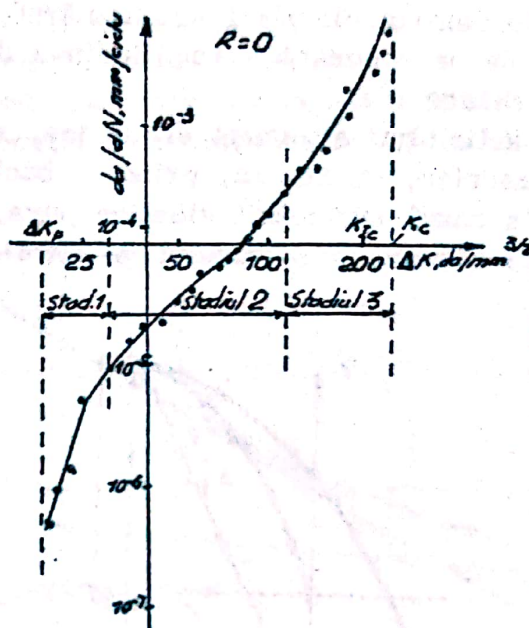


Fig. 4.11. Viteza de propagare a fisurii de oboseală la un oțel aliat Cr-Ni-Mo

Se menționează că valoarea pragului de oprire a propagării este, totuși, mai mică decât valoarea factorului de intensitate a tensiunii, corespunzătoare inițierii fisurii de oboseală în zona concentratorului, deoarece tensiunea necesară la fundul concentratorului - realizat prin metode mecanice pentru a amorsa o fisură de oboseală - este mai mare decât cea necesară pentru propagarea unei fisuri de oboseală a cărei rază de racordare este practic nulă. Acest prag are o mare importanță practică deoarece, într-o structură care lucrează la oboseală, permite determinarea dimensiunilor defectelor maxime admisibile pentru ca o fisură, pornind de la aceste defecte, să nu se propage ca urmare a solicitărilor variabile.

În stadiul 2, fisura se propagă cu o viteză aproximativ constantă, care depinde de material, tratament termic, temperatură etc.

În stadiul 3, determinările sînt mai dificile, deoarece propagarea fisurilor este rapidă și poate urma instantaneu ruperea. Aceasta se produce la o valoare  $K_{IC}$ , care este, de regulă, cu puțin superioară valorilor  $K_{IC}$ , determinată prin încercarea statică de mecanica ruperii.



Studiul oboselii pe baza deformării, realizat pentru analiza reea comportării la oboseală la un număr mic de cicluri, și-a dovedit utilitatea și în analizarea datelor privind oboseala de lungă durată. Se pot explica răspunsurile materialului, atât elastice cât și plastice, la sarcinile aplicate, iar datele sînt prezentate pe o diagramă similară ca formă cu curba  $\bar{\sigma} - N$ ; valoarea înscrisă pe abscisă reprezintă numărul de alternări ale deformării (de 2 ori numărul ciclurilor) pînă la rupere, iar valoarea de pe ordonată - amplitudinea deformării (jumătate din domeniul de deformare).

În timpul solicitării alternant simetrice, relația tensiune - deformare poate fi descrisă, de regulă, printr-o buclă, asemănătoare celei din fig. 4.12. În cazul încărcării elastice pure, bucla devine o linie dreaptă a cărei înclinare este modulul de elasticitate  $E$  al materialului.

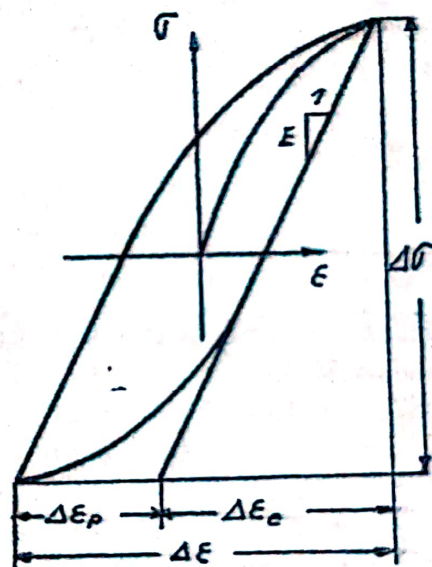


Fig.4.12. Curba de histerezis a solicitării ciclice

Delimitările domeniilor de deformare plastică  $\Delta\epsilon_p$ , deformare elastică  $\Delta\epsilon_e$ , deformare totală  $\Delta\epsilon$  și de tensiune  $\Delta\sigma^p$ , sînt indicate în figură. O serie de încercări la oboseală, fiecare avînd un domeniu diferit de deformare totală, va genera o serie de bucle de histerezis. Pentru fiecare set de condiții, este necesar un număr caracteristic de alternări ale deformării pentru a se produce ruperea.

Curbele de durabilitate la deformare ciclică pot fi trasate în coordonate logaritmice "deformație/număr de cicluri"; în aceste



coordonate se pot trasa:

- dreapta corespunzătoare componentei plastice a buclei din figura 4.12;
- dreapta corespunzătoare componentei elastice a aceleiași bucle;
- curba de variație a deformației totale, corespunzătoare unui material dat, la un anumit număr de cicluri.

În exemplul reprezentat în figura 4.13 s-au trasat aceste curbe în cazul unui oțel aliat Cr-Ni-Mo, în stare recoaptă; pe figură s-a înscris și ecuația corespunzătoare curbei de deformare totală.

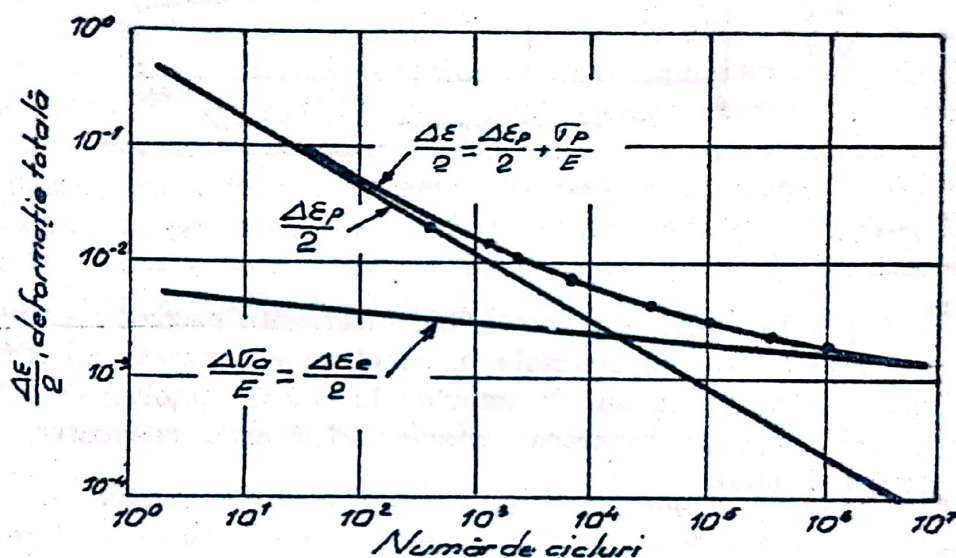


Fig. 4.13. Curbele de durabilitate la deformare ciclică a unui oțel Cr-Ni-Mo în stare recoaptă

#### 4.1.5. Modificarea tensiunilor interne prin oboseală

Slăbirea tensiunilor interne, dezvoltate prin călire, sub acțiunea forțelor externe alternante a fost demonstrată, încă din anul 1933, de către Bühler și Bucholz, utilizând metoda lui Sachs. Figura 4.14 ilustrează această influență asupra tensiunilor reziduale longitudinale și tangențiale pentru trei niveluri de încărcare, în funcție de numărul de cicluri al solicitării alternante. Această influență se traduce printr-o diminuare a tensiunilor de tracțiune și transformarea lor în tensiuni de compresune, ceea ce are drept efect ameliorarea rezistenței la o-



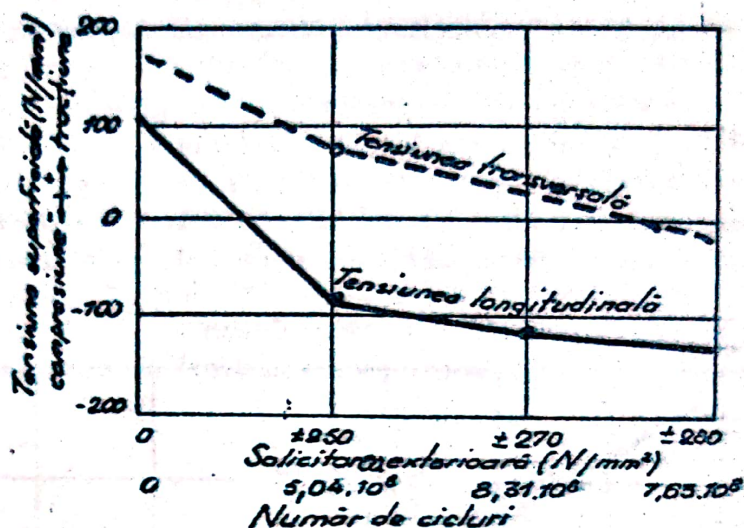


Fig. 4.14. Influența eforturilor alternante asupra tensiunilor reziduale superficiale în cazul unor epruvete cilindrice, găurite, călite cu apă în interior la  $600^\circ C$  (oțelul:  $C=0,34\%$  și  $Mn = 0,69\%$ ; diametrul exterior 27,3 mm, respectiv, interior 8 mm).

boseală.

Cercetări efectuate cu ajutorul razelor X au condus la aceleași concluzii.

Acest efect este sensibil, în mod deosebit, în cazul epruvetelor crestate sau găurite, la care vîrfurile de tensiune de tracțiune sînt atenuate. El este, de asemenea, cu atît mai manifest cu cît amplitudinea tensiunilor alternante este mai mare, indiferent dacă epruvetele sînt netede sau crestate. Tensiunile de compresiune care apar astfel, după descărcare, sînt de natură să favorizeze durabilitatea în condiții de oboseală.

Dacă se compară acțiunea solicitărilor statice și a celor alternante asupra diminuării tensiunilor de tracțiune, se constată că la aceeași valoare nominală a solicitării, tensiunile alternante sînt sensibil mai eficace decît cele statice.

Ca urmare a acestor rezultate, specialiștii germani au fost conduși să admită că acțiunea favorabilă a unei subsolicitări s-ar datora, într-o oarecare măsură, tensiunilor reziduale de compresiune, care se



dezvoltă în cursul oboselii.

După Jasper și Stewart, eforturile repetate pentru 2 milioane de cicluri pot să reducă la o zecime tensiunile remanente care există în oțelurile călite, imediat după călire. Diminuarea este mai slabă pentru oțelurile călite și revenite, când temperatura de revenire crește.

Îndoind și apoi îndreptînd epruvetele plate din oțel moale și din aliaj de aluminiu cu 4,5% Cu în stare dură, Pattinson și Dugdale au introdus tensiuni reziduale în măsură cunoscută. Procedînd în acest fel, ei au găsit - în cursul încercărilor de oboseală la încovoiere plană - că tensiunile reziduale dispar rapid în oțelul moale, dar nu - mai după  $10^7$  cicluri în aliajul de aluminiu.

Un studiu sistematic, întreprins de către Wood, a permis să se demonstreze că pretensiunile macroscopice introduse printr-o predeformare statică sau dinamică dispar rapid după cîteva sute de cicluri. În schimb, continuă să subziste o durificare a metalului, produsă prin ecruisarea prealabilă care rezultă din prezența microtensiunilor interne, responsabile de ameliorarea rezistenței la oboseală. În concluzie, Wood a demonstrat că nu se poate vorbi de înmuierea metalului în cursul oboselii; totul depinde de maniera în care se fac determinările.

#### 4.1.6. Tensiunile ce însoțesc depunerile electrolitice

Pentru a îmbunătăți condițiile de suprafață (protecție contra coroziunii, frecare, uzură) se aplică frecvent depuneri electrolitice, dar acestea sînt însoțite, de regulă, de o scădere sensibilă a rezistenței la oboseală.

De mult timp s-a demonstrat că depunerile electrolitice sînt sediul unor tensiuni interne pe care Barklie și Davies le-au și măsurat. Pentru nichel, ei au găsit o tensiune de întindere de  $175\text{N/mm}^2$ ; pentru cupru (depus plecînd de la sulfat) și pentru plumb, tensiunile sînt practic nule. Acești autori au constatat, de asemenea, că epruvetele de oțel nichelate au rezistențe la oboseală, la încovoiere rotativă, mai mici decît cele nenichelate; ei au atribuit acest fapt existenței tensiunilor de întindere în depunerea electrolitică.

Pentru depunerile groase de nichel (0,20 mm), Cazaud a găsit pe epruvete din oțel moale încercate la încovoiere rotativă o diminuare a rezistenței la oboseală cu 40%, în timp ce Almen a menționat o diminuare a rezistenței la oboseală cu 35%.

Acționînd asupra compoziției băii (sulfamat) și asupra condițiilor de efectuare a electrolizei s-au putut, însă, obține depuneri a



căror duritate Vickers atinge 550 unități corespunzătoare tensiunilor de compresiune favorabile rezistenței la oboseală, câștigul obținut fiind de 5 - 7%. Almen a indicat și el compoziția băii de nichel, pe bază de clorură, și condițiile de depunere care determină tensiuni de compresiune de 40 N/mm<sup>2</sup>.

În cazul cromului, după Hume - Rothery și Wyllie, tensiunile de tracțiune pot atinge 350 N/mm<sup>2</sup>; în funcție de condițiile de depunere; Wiegand și Scheinost au găsit că depunerea de crom dur (cromarea dură) nu modifică rezistența la sarcini statice, dar că rezistența la oboseală este diminuată cu 15% dacă acoperirea este subțire și cu 20 - 35% dacă este groasă.

Laboratoarele Sulzer au efectuat încercări de încovoiere rotativă pe epruvete din oțel cu 0,38% C, cromate în diferite grosimi și rectificate după cromare. După cromare pe 0,03 mm grosime, rezistența la oboseală și-a păstrat valoarea de 250 N/mm<sup>2</sup>, dar ea scade pentru o grosime mai mare; dacă stratul de crom atinge 0,2 mm, rezistența la oboseală este micșorată la jumătate.

Cazaud pe diverse oțeluri, Bastien și Popof pe un oțel cu 13% crom au măsurat reduceri ale rezistenței la oboseală, după cromare, care ating 40% pentru depunerile cele mai groase, 0,1-0,2 mm (tabelul 4.3). Încercări la încovoiere alternantă, efectuate de Eilender, Arend și Schmidtman, pe epruvete cilindrice de oțel acoperite cu un strat de crom de 0,02, 0,04 și 0,5 mm grosime, au arătat că rezistența la oboseală este considerabil diminuată pentru o grosime a stratului de crom de 0,5 mm și că o revenire de 2 h la 120°C accentuează puternic această diminuare. Toate aceste rezultate conduc la recomandarea ca stratul de depunere să nu depășească 0,03 mm.

Dacă se admite că diminuarea rezistenței la oboseală se datorează tensiunilor care există în depunerea electrolică, se înțelege că, evident, condițiile de realizare a cromării au o influență preponderantă. Se știe, de altfel, că în funcție de condițiile de efectuare a electrolizei, proprietățile mecanice ale metalului depus sînt foarte diferite.

Cercetările efectuate de Williams și Hammond au arătat că variația rezistenței la oboseală după cromare este o funcție lineară de intensitatea tensiunilor reziduale din stratul de depunere.

Pentru a elimina fragilizarea prin hidrogen, cromarea este urmată de o încălzire între 150 și 200°C, dar numeroși cercetători au demonstrat că acest tratament accentuează diminuarea rezistenței la oboseală, cu excepția poate a straturilor foarte subțiri. Rezistența la oboseală nu poate fi îmbunătățită decît prin încălziri la temperaturi foarte ridicate, ceea ce se explică prin dispariția tensiunilor reziduale și apariția tensiunilor termice de compresiune în stratul de crom.



TABELUL 4.3

| Tipul<br>oțelului                     | Tratamentul<br>termic                              | Caracteristici<br>N/mm <sup>2</sup> |      | Grosi-<br>mea<br>depu-<br>nerii<br>mm<br>100 | Rezistența la obo-<br>seală, N/mm <sup>2</sup> |                | Re-<br>duce-<br>rea<br>lui<br>$\frac{U}{R}$<br>% |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------|
|                                       |                                                    | R <sub>c</sub>                      | R    |                                              | fără<br>depunere                               | cu<br>depunere |                                                  |
| - oțel aliat<br>cu 4% Ni-<br>-1,5%Cr  | recopt                                             | 417                                 | 665  | 10...17                                      | 363                                            | 254            | 30                                               |
| - oțel carbon călit în u-<br>dur      | călit în u-<br>lei la 825°C<br>revenit<br>la 550°C | 692                                 | 996  | 10...12                                      | 436                                            | 373            | 15                                               |
| - oțel aliat<br>Ni-Cr-Mo              | îmbună-<br>tătit                                   | 1026                                | 1129 | 3...4                                        | 540                                            | 441            | 17                                               |
| - oțel carbon călit în u-<br>semi-dur | călit în u-<br>lei la 850°C<br>revenit<br>la 600°C | 481                                 | 647  | 10...12                                      | 349                                            | 201            | 40                                               |

S-a observat că depunerile dure de crom prezintă adesea o rețea de fisuri capilare și că depunerile moi de crom sînt mai puțin fisurate decît cele dure. În cazurile în care este necesar să se proce-  
deze la o reîncărcare prin depunere electrolitică relativ groasă, pen-  
tru a repara uzura unui fus de vilbrochen, de exemplu, se recomandă  
să se facă mai întîi o depunere groasă de nichel și apoi o depunere  
subțire de crom.

Almen a arătat că, făcînd o alicare înaintea nichelării sau  
cromării, efectul defavorabil al depunerii electrolitice este complet a-  
nulat și această influență se explică prin dezvoltarea de tensiuni de  
compresiune, care tind să anuleze tensiunile de tracțiune din stratul  
depus. Este posibil, chiar, ca după alicare și depunere electrolitică să  
se obțină o rezistență la oboseală puțin mai ridicată. Alicarea înaintea  
depuerii electrolitice are, de asemenea, drept efect suprimarea scăderii  
rezistenței la oboseală, care survine după încălzirea la temperatură re-



lativ joasă în scopul eliminării hidrogenului.

#### 4.2. Influența factorilor dimensionali și a geometriei

Se știe că fisurile de oboseală se amorsează de preferință la suprafața pieselor, în dreptul concentrărilor de tensiune datorate fie formei lor geometrice (creștături, filete, racordări, muchii, găuri, renuri), fie microgeometriei suprafeței (rizuri de prelucrare). Ele mai pot fi provocate prin modificarea proprietăților în stratul superficial (decarburare) sau prin prezența neomogenităților în metal (incluziuni, segregatii, fibraj). De aceea, este necesar să se cunoască în ce măsură rezultatele obținute pe epruvete sînt aplicabile pieselor de dimensiuni mari. Cum fenomenul de oboseală se manifestă prin deformări plastice înfinit mici și locale, care modifică într-o manieră notabilă repartiția inițială a tensiunilor, este necesar să se urmărească evoluția gradientului de tensiune în piesele supuse la oboseală.

##### 4.2.1. Efectul de scară

Efectul de scară trebuie luat în considerare pentru a permite să se compare nu numai rezistența la oboseală a pieselor de mașini cu aceea a epruvetelor, care sînt de obicei de mici dimensiuni, dar și rezistența la oboseală a epruvetelor de aceeași formă, însă de secțiuni diferite.

Se deosebesc două cazuri, după cum solicitarea este uniformă sau neuniformă.

##### 4.2.1.1. Solicitările uniforme

Prin solicitare uniformă se înțelege o solicitare axială de tracțiune sau compresiune, care acționează normal pe o secțiune, fără creștături, dintr-un material omogen. Cîmpul de tensiune este, în acest caz, uniform și monoaxial; de exemplu, pentru o epruvetă tensiunea este uniformă într-o secțiune circulară situată suficient de departe de capetele de strîngere.

Efectul de scară este consecința unui anumit număr de factori care intervin diferit în funcție de dimensiunile piesei sau epruvetei. Printre acești factori cităm:

- Rolul preponderent al suprafeței; fisurile de oboseală se amorsează la suprafață datorită regularităților de prelucrare, deoarece cristalele superficiale au o libertate mai mare de deformare decît cristalele interioare și pentru că ele sînt supuse coroziunii atmosferice.



Invers, ecruisarea, însoțită de pretensiuni de compresiune, ridică rezistența la oboseală a stratului periferic.

- Raportul dintre suprafață și volum, care modifică importanța relativă a stării de suprafață și determină nivelul tensiunilor reziduale. Pentru o adâncime de ecruisare dată, nivelul tensiunilor reziduale va fi cu atât mai mare cu cât diametrul epruvetei va fi mai mare. Pe de altă parte, cu cât acest raport este mai mare, cazul epruvetelor mici, cu atât degajarea de căldură, care însoțește solicitările alternante, poate să se disipeze mai ușor.

- Neomogenitățile materialului. Pentru epruvetele de dimensiuni obișnuite, numărul cristalelor este suficient de ridicat pentru ca neomogenitatea cristalină superficială să joace vreun rol. Totuși, repartiția statistică a defectelor tinde să determine o rezistență la oboseală mai joasă când secțiunea supusă unei tensiuni uniforme crește. Se pare că acest ultim factor nu este foarte important.

#### 4.2.1.2. Solicitările neuniforme

Efectul de scară este apreciabil în cazul încovoierii alternante, plane sau rotative, ca și al răsucirii; rezistența la oboseală scade când diametrul crește. Acest efect este atribuabil gradientului de tensiune care există între fibra externă și cea neutră.

Când stratul superficial, cel mai solicitat, începe să se deformeze plastic, sînt antrenate și straturile subadiacente. Drept urmare, se produce un gradient de deformare și, în consecință, apar tensiuni interne; are loc fenomenul de adaptare.

Caquot a calculat că într-un metal în care are loc o diminuare a tensiunii, proporțională cu tensiunea medie, tensiunile interne vor fi proporționale cu  $(a-r)$ ,  $a$  fiind o constantă și  $r$  grosimea stratului considerat. Aceste tensiuni sînt aplicate unor suprafețe crescătoare cu grosimea. Rezultanta lor exterioară este necesar nulă, de unde prin calcul rezultă că tensiunea internă pe treimea exterioară este o compresiune; ea se anulează pentru  $r = 2/3 r_0$  și devine, în centru, o tensiune internă de tracțiune.

Pentru fibra exterioară se poate, astfel, admite o rezistență la solicitări alternante de încovoiere egală cu  $2/3$  din rezistența la tensiuni alternante de tracțiune - compresiune.

Influența dimensiunii se atenuează în cazul pieselor găurite. Când grosimea peretelui piesei găurite este foarte mică, diferența tensiunilor de o parte și de alta a peretelui este, de asemenea, foarte mică și adaptarea devine practic nulă. Gradientul tensiunilor este egal cu cel al unei piese pline, de același diametru.



Rezistența la oboseală tinde către o valoare limită cores - punzătoare solicitărilor axiale de tracțiune - compresiune, care sînt u - niforme.

#### 4.2.2. Concentratorii de tensiuni

În practică s-a constatat că rezistența la oboseală a plese - lor cu forme diferite, determinate de condiții constructive, este mai mică decît rezistența la oboseală a unor plese netede, diferențele fiind uneori apreciable. Variațiile secțiunii transversale provoacă o pertur - bare în distribuția tensiunilor pe secțiune, o concentrare locală a aces - tora.

Cei mai frecvenți concentratori sînt: racordările, renurile transversale, canalele de pană, găurile, filetele, locurile de contact cu diferite plese presate, locurile de aplicare a sarcinilor concentrate etc. Intensitatea concentrării tensiunilor este determinată de gradientul lor de variație după o anumită direcție  $x$  și se exprimă prin relația:

$$\frac{d\sigma}{dx}$$

În cazul solicitărilor monoaxiale, direcția  $x$  se ia perpendi - cular pe direcția tensiunilor: la solicitările bi - și triaxiale, gradien - tul se calculează pe direcții perpendiculare între ele. În general, con - centrarea tensiunilor este cu atît mai pronunțată, deci gradientul de variație a tensiunilor cu atît mai mare, cu cît este mai accentuată va - riația formei plesel.

În calcule, va trebui să se țină seama de creșterea consi - derabilă a tensiunilor datorită concentratorilor. Acest lucru se face prin coeficienții de concentrare. Raportul dintre tensiunea maximă - ținînd cont de concentrare - și tensiunea nominală, în ipoteza unei elas - ticități perfecte, se numește coeficient teoretic de concentrare și se no - tează cu  $\alpha$ . Trebuie menționat că în punctele de concentrare a tensiunii se creează în general o stare de tensiune triaxială, dar în calculul coe - ficientului  $\alpha$  se va considera tensiunea maximă din secțiune.

Tensiunile produse de concentratori (figura 4.15) se calcu - lează prin metodele teoriei elasticității sau se determină experimental prin fotoelasticimetrie.

Se știe că materialele utilizate în tehnică nu se supun ipote - zei elasticității perfecte, întrucît ele nu sînt perfect omogene și izotro - pe. În plus, în locurile unde sînt concentratori (în urma apariției mi -



crofisurilor, starea de solicitare se poate schimba), tensiunile pot depăși limita de elasticitate. Toate acestea au făcut ca, pentru solicitările variabile, să se introducă noțiunea de coeficient efectiv de concentrare  $K$ , definit ca raport între rezistența la oboseală a unei epruvete netede și rezistența la oboseală a epruvetei cu concentrator.

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_R}{\sigma_{RK}} ; K_{\tau} = \frac{\tau_R}{\tau_{RK}}$$

unde:

$\sigma_R$  și  $\tau_R$  reprezintă rezistența la oboseală a epruvetei netede, solicitarea avînd gradul de asimetrie  $R$ , iar  $\sigma_{RK}$  și  $\tau_{RK}$  - rezistența la oboseală a epruvetei cu concentrator, solicitarea avînd același grad de asimetrie  $R$ .

Acest coeficient se determină experimental și este influențat de tipul solicitării, gradul de asimetrie, mărimea plesii, forma concentratorului și materialul plesii. El are în general valori mai mici decît coeficientul teoretic de concentrare, datorită redistribuirii tensiunilor în secțiune în prezența deformațiilor plastice.

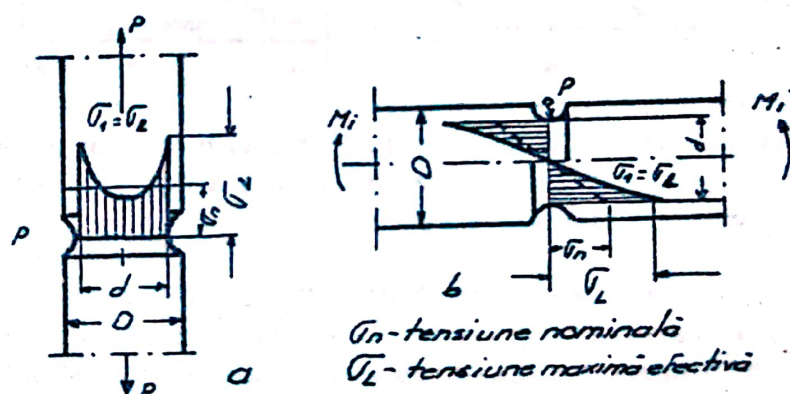


Fig. 4.15. Variația tensiunilor într-o piesă cu concentrator inelar  
a) solicitată la întindere - compresiune  
b) solicitată la încovoiere

În literatură, valorile acestui coeficient sînt date aproape exclusiv pentru ciclul alternant simetric. Dealtfel din experiențele lui S. V. Serensen rezultă că variația coeficientului efectiv de concentrare, pentru diferite grade de asimetrie a ciclului, este de 10%, valoarea cea mai mare fiind pentru ciclul alternant simetric. Acest lucru permite să se folosească coeficienții determinați pentru ciclul simetric și în



cazul ciclurilor asimetrice, afectînd însă numai amplitudinea ciclului cu acest coeficient.

Mărimea plesii influențează valoarea coeficientului de concentrare, în sensul că o dată cu creșterea dimensiunilor crește și coeficientul de concentrare. Experimental s-a stabilit că la dimensiuni peste 50 mm influența mărimii nu se mai manifestă sensibil. De influența mărimii plesii se ține seamă printr-un coeficient de mărime, care depinde și de material (v. 4.2.3.). În unele situații, coeficientul efectiv de concentrare poate include și influența dimensiunii, în care caz se numește coeficient de concentrare complex.

În figura 4.16 se arată variația tensiunilor dintr-o epruvetă netedă și, respectiv, una crestată. Se observă că datorită deforma-

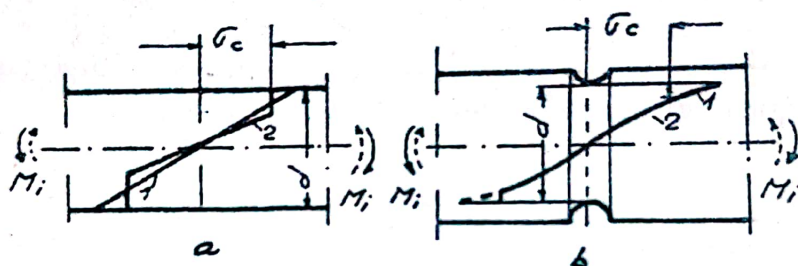


Fig. 4.16. Variația tensiunilor reale într-o epruvetă netedă (a) și cu concentrator (b), supuse la încovolere

țiilor plastice, tensiunile sînt distribuite altfel (curba 2) decît în cazul deformațiilor pur elastice (curba 1). Zona tensiunilor constante corespunde cu grosimea stratului care suferă deformații plastice. Prezența acestei zone de deformație plastică în epruveta crestată micșorează vîrfurile de tensiune de la baza creștăturii, contribuind la atenuarea acțiunii concentratorilor în regim de subsolicitări.

Trebuie subliniat că existența mai multor concentratori de tensiune, într-o porțiune restrînsă a unei plesii sollicitată ciclic, poate avea un efect favorabil asupra rezistenței sale la oboseală, față de situația în care ar acționa un singur concentrator, în măsura în care interacțiunea între aceștia atenuează vîrfurile de tensiune. În literatură se cunoaște, încă de mult timp, acțiunea de descărcare a creștăturilor. Descărcarea se realizează prin practicarea unui concentrator (sau mai mulți) în vecinătatea aceluia al cărui efect trebuie micșorat. Forma creștăturii de descărcare este, în general, identică cu cea inițială, putînd să difere, însă, ca dimensiuni. Așa cum s-a menționat, explicarea acestui efect de descărcare stă în rearanjarea, în sens favorabil, a



tenziunilor din zona periculoasă a plesei. Combinarea concentratorilor trebuie făcută cu mare atenție pentru a nu se obține un efect contrar celui dorit.

Efectul scăderii rezistenței la oboseală, în cazul aceluiași concentrator de tensiune, variază de la metal la metal. La metalele care sînt capabile să suporte numai deformări plastice mici, acțiunea concentratorilor se manifestă mai pregnant, coeficientul efectiv de concentrare  $K$  este mai mare și se apropie mai mult de valoarea coeficientului teoretic de concentrare  $\alpha$ . Sensibilitatea cea mai mare la concentratori o prezintă oțelurile cu o rezistență mijlocie și mare. Acest fapt este confirmat și de practică, deoarece s-a constatat că tendința de a evita ruperile prin oboseală prin promovarea de oțeluri de înaltă rezistență fără a se acționa asupra formei concentratorilor, de regulă nu dă rezultate eficiente. Din punct de vedere al sensibilității la creștere, folosirea unui metal chiar cu rezistență la oboseală mai mică, avînd însă o sensibilitate la concentratori mai redusă, este mai potrivită pentru plese care au concentratori de tensiune puternici. Utilizarea unor oțeluri superioare este justificată numai în cazul unei tehnologii corespunzătoare (tratamente termice și termochimice îngrijite, prelucrare mecanică de precizie) și a unei configurații geometrice prin care se evită existența unor concentratori pronunțați.

Acest lucru este evidențiat clar prin analize comparative asupra variației coeficienților de concentrare la încovolere  $K_G$  și torsiune  $K_T$  pentru diferite materiale, la același tip de concentrator. Astfel, în figura 4.17 se prezintă coeficientul de concentrare la încovolere la trecerea de la un diametru  $d$  la altul mai mare  $D$  cu o rază de racordare  $r$ , la două clase de oțeluri.

Se poate constata că diferențele sînt mai mari mai ales în zona concentratorilor puternici, unde intervine direct capacitatea materialului de a prelua deformări plastice. Astfel, la un raport  $\frac{D}{d} = 2$  și  $\frac{r}{d} = 0,025$ , în cazul oțelurilor cu rezistență obișnuită  $K_G = 2,30$ , în timp ce la oțelurile de înaltă rezistență  $K_G = 3,25$ . Aceasta înseamnă că, în cazul în care se schimbă materialul pentru asigurarea unei comportări la oboseală corespunzătoare, se constată o ameliorare numai dacă sporul de rezistență este de cel puțin 45%, ceea ce echivalează cu folosirea unui oțel înalt aliat cu toate implicațiile tehnico-economice care rezultă. Un efect similar se obține, însă, prin modificarea razei de racordare pînă la un raport  $\frac{r}{d} = 0,085$  sau prin modificarea raportului  $\frac{D}{d}$  și a raportului  $\frac{r}{d}$ , fără a se schimba materialul inițial. Situația este similară și în cazul solicitărilor la torsiune, așa cum se poate constata din figura 4.18.



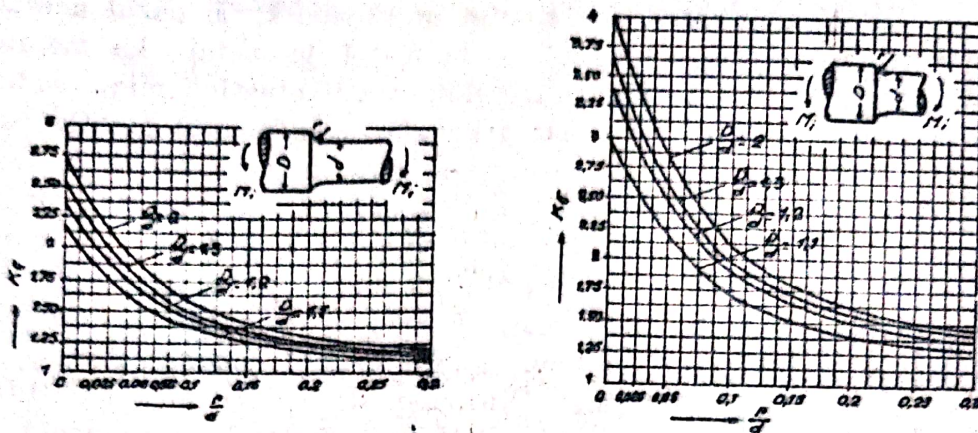


Fig. 4.17. Coeficientul de concentrare la încovoiere  $K_G$

- a - pentru oțeluri cu rezistență normală ( $400-500 \text{ N/mm}^2$ )
- b - pentru oțeluri aliate de înaltă rezistență ( $1200-1400 \text{ N/mm}^2$ )

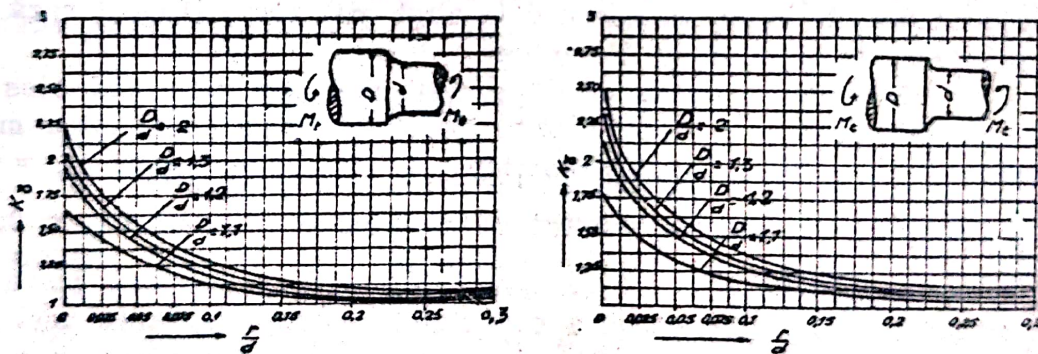


Fig. 4.18. Coeficientul de concentrare la torsiune  $K_T$

- a - pentru oțeluri cu rezistență medie ( $500-800 \text{ N/mm}^2$ )
- b - pentru oțeluri aliate de înaltă rezistență ( $1000-1200 \text{ N/mm}^2$ )



#### 4.2.3. Influența dimensiunilor

Rezistența la oboseală depinde de dimensiunile piesei; ea se micșorează odată cu creșterea acestora. Factorul dimensional este foarte important, subaprecierea lui putând duce la greșeli în dimensionarea piesei. Importanța lui crește considerabil în cazul oțelurilor de mare rezistență (oțeluri aliate), al pieselor având concentratori de tensiune pronunțați, al celor care lucrează în medii corosive și, în general, în cazul în care proprietățile de rezistență prezintă dispersii mari.

Efectul factorului dimensional s-ar putea pune corect în evidență dacă s-ar efectua încercări pe modele executate în mărime naturală. De obicei, laboratoarele nu sînt dotate cu mașini de încercat care să satisfacă aceste cerințe. Se recurge atunci la încercări pe epruvete cu diametre mici (7-10 mm), introducîndu-se în calcule, pentru a ține seamă de influența dimensiunilor, un coeficient numit coeficient de mărime,  $\xi$ . El se definește ca fiind raportul între rezistența la oboseală a epruvetei netede de diametru  $d$  și rezistența la oboseală a epruvetei netede cu diametru  $d_0$  (7-10mm). În cazul existenței unui concentrator de tensiune se definesc rapoarte similare ( $\xi_k$ ).

În figura 4.19. este prezentată grafic variația factorului dimensional pentru piese din oțel, solicitate la încovoiere, iar în figura 4.20 - pentru piese solicitate la răsucire.

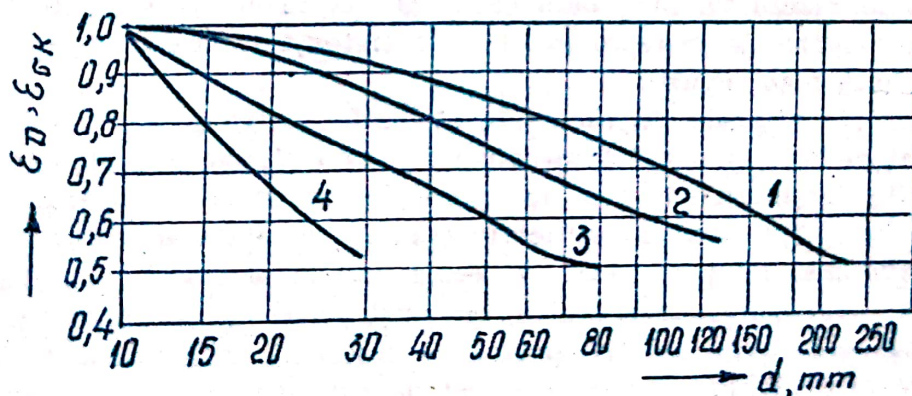


Fig. 4.19. Coeficientul de mărime  $\xi$  pentru încovoiere la oțeluri

- Curba 1 - oțel carbon fără concentratori de tensiune;
- Curba 2 - oțel aliat fără concentratori de tensiune sau oțel carbon cu concentratori moderați (1,8 - 2);
- Curba 3 - oțel aliat cu concentratori de tensiune moderați;
- Curba 4 - oțeluri cu concentratori de tensiune foarte puternici.



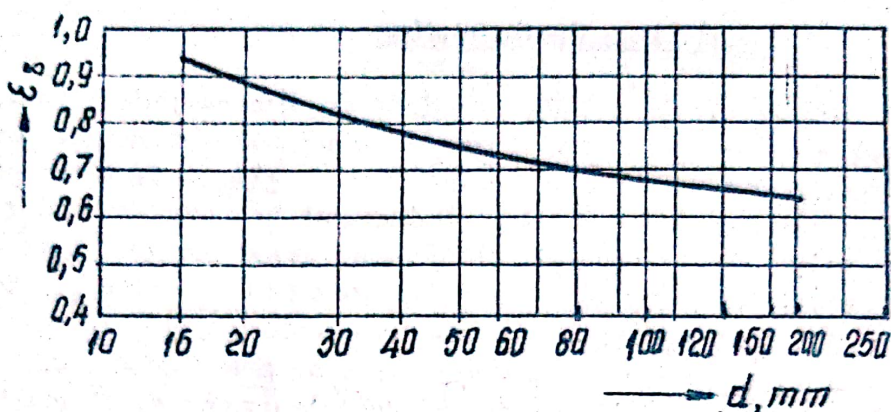


Fig. 4.20 Coeficientul de mărime  $\epsilon$  pentru răsucire la oțeluri

Explicarea influenței dimensiunilor asupra rezistenței la oboseală și a variației factorului dimensional în cazul diferitelor tipuri de solicitare (întindere-compresiune, încovoiere, răsucire etc.) nu s-a putut clarifica pînă în prezent. Există, în acest sens, o serie de teorii, dar nici una din ele nu se bazează pe o fundamentare experimentală hotărîtoare. Printre principalele cauze, care determină o reducere a rezistenței la oboseală a pieselor de mari dimensiuni, se amintesc:

- răcirea după deformarea plastică la cald a oțelurilor carbon, netratate termic, este mai lentă în cazul dimensiunilor mari, ceea ce conduce la caracteristici de rezistență la tracțiune și, deci, și de oboseală mai reduse;

- vitezele de răcire la oțelurile pentru piese tratate termic sînt mai reduse în cazul dimensiunilor mari și, așadar, structurile metalografice obținute sînt mai apropiate de starea de echilibru. Ca urmare, duritățile chiar superficiale (sau în imediata apropiere a suprafeței) sînt mai mici și, deci, și rezistența la oboseală este mai mică. Întrucît, de regulă, aceste piese se prelucurează prin așchiere, îndepărtîndu-se straturi relativ groase de material, rezistența de la suprafața piesei prelucrate depinde direct de calibrabilitatea materialului. În cazul concentratorilor, cînd aceștia sînt de tipul canale, găuri etc., în zona tensiunilor maxime se întîlnesc porțiuni de material cu caracteristici mai slabe chiar decît cele de la suprafața piesei, fără concentratori;

- piesele de dimensiuni mari, din motive tehnice, se realizează din semifabricate al căror grad total de deformare plastică (lingou-piesă) este sensibil mai scăzut decît în cazul dimensiunilor mici.



În aceste situații, toate caracteristicile, inclusiv rezistența la oboseală, sînt sensibil mai reduse.

Ca urmare a celor arătate, analiza alegerii materialelor pentru piese de mari dimensiuni, sollicitate la oboseală, trebuie făcută și prin prisma modului în care efectul dimensional intervine asupra valorii acestei caracteristici.

#### 4.2.4. Influența stării suprafeței

Majoritatea ruperilor prin oboseală pornesc de la suprafața piesei. Aceasta își are explicația în faptul că în straturile superficiale tensiunile sînt maxime la sollicitările de încovoiere, torsiune sau la sollicitările complexe.

Ca urmare, starea suprafeței unei piese de metal poate afecta, în mod semnificativ, rezistența sa la oboseală. Imperfecțiunile de suprafață și rugozitatea reduc limita de oboseală a piesei; acest efect este evident mai pregnant la oțelurile de înaltă rezistență. Coeficientul de corecție, datorat rugozității suprafeței și metodei de producere a suprafeței piesei finite în funcție de nivelul rezistenței, este prezentat în figura 4.21, în care ordonata reprezintă fracțiunea din durata de viață la oboseală a unei epruvete șlefuite, care poate fi anticipată pentru combinația dintre nivelul de rezistență și tipul suprafeței finite menționat în figură.

Un rol important asupra rezistenței la oboseală îl are deteriorarea calității suprafeței, ca urmare a frecării dintre două piese metalice în contact, mai ales în contact fix (de exemplu, piese fretate sau fixate rigid cu șuruburi). Mișcarea relativă între suprafețele în contact, cauzată de vibrații, provoacă uzuri locale. De obicei, frecarea este însoțită de oxidare. La piesele fretate, frecarea se produce între două suprafețe, care se suprapun fix și sînt supuse unei mișcări relative ciclice, avînd o amplitudine extrem de mică. Regiunile supuse acestei frecări sînt foarte sensibile la fisurarea prin oboseală. În condiții de frecare, fisurile de oboseală se propagă la tensiuni extrem de joase, mult sub limita de oboseală a epruvetelor fără frecare.

În legătură cu calitatea suprafeței sînt de reținut următoarele aspecte:

1. Regimurile tehnologice de rectificare și șlefuire au o mare influență asupra durabilității piesei finite. Astfel, deși aparent suprafața este de calitate deosebită, la prelucrările cu regimuri intensive se produc încălziri locale ce dezvoltă tensiuni interne de tracțiune sau chiar microfisuri.

2. La prelucrările prin rectificare, orientarea rizerilor -



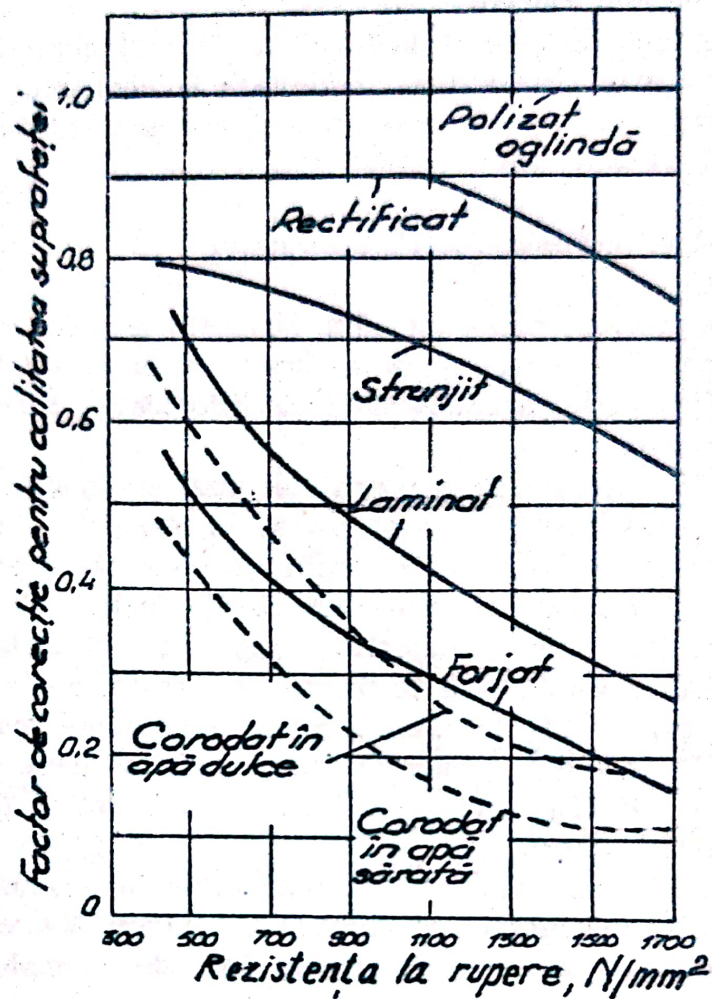


Fig. 4. 21. Coeficientul de corecție a rezistenței la oboseală, determinat de rugozitatea suprafeței

rezultate din prelucrare în raport cu direcția tensiunilor maxime - este foarte importantă. În cazul pieselor solicitate la încovoiere, în zonele cu tensiuni maxime este de dorit ca rizurile să fie paralele cu direcția tensiunilor (cu axa longitudinală a piesei).

3. Înălțimea medie a rugozităților are o influență diferită asupra rezistenței la oboseală, în funcție de calitatea materialului, fapt care se poate constata din diagrama prezentată în figura 4. 22.



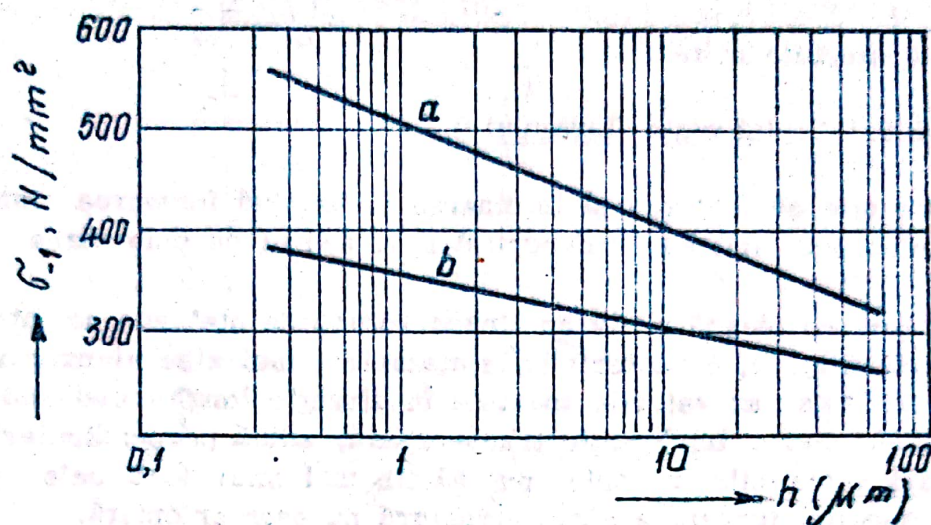


Fig. 4.22. Variația rezistenței la oboseală în funcție de înălțimea rugozităților

Curba a - oțel aliat crom - molibden

Curba b - oțel carbon

#### 4.2.5. Influența neomogenităților de structură

Ca o regulă generală, neomogenitățile de structură tind să diminueze rezistența la oboseală. Totuși, ținând seama de faptul că originea acestor neomogenități este foarte diversă, acțiunea lor asupra rezistenței la solicitări ciclice va fi diferită.

Pe de o parte, diferențele locale de compoziție, datorate segregățiilor majore și minore sau atmosferei din cuptoarele de tratamente termice, pot să provoace scăderi locale ale rezistenței, deci ale durabilității. Pe de altă parte, defectele de tipul retasurilor, sulfurilor, microfisurilor, fulgilor sau incluziunilor nemetalice vor determina concentrări locale de tensiune, care vor înlesni amorsarea fisurilor de oboseală.

Trebuie subliniat că progresele însemnate ce s-au realizat în tehnica elaborării oțelurilor, în ultimii douăzeci și cinci de ani, au ca efect primordial creșterea purității chimice a metalului, concretizată în scăderea conținutului de elemente nocive și gaze, ceea ce determină ameliorarea sensibilă a comportării oțelurilor în condiții de solicitări ciclice.

Dintre neomogenitățile structurale, care influențează comportarea oțelurilor la oboseală, fibrajul mecanic și incluziunile neme-



talice au fost studiate sistematic.

#### 4.2.5.1. Influența fibrajului

Se știe că forjarea și laminarea determină formarea unei texturi fibroase prin orientarea dendritelor în sensul de deformare a metalului.

Dacă se pleacă de la un lingou rotund de oțel sau se întinde o bară prin forjare, caracteristicile mecanice, mai ales alungirea la rupere și reziliența, au valorile maxime în direcție longitudinală, adică direcția de deformare. În direcție transversală, adică perpendiculară pe fibre, caracteristicile mecanice pot să fie mai mici decât cele pe care le are metalul turnat, a cărui structură nu este orientată.

Intensitatea texturii poate fi ușor atenuată printr-un tratament de recoacere sau călire, aplicat după forjare. Tratamentul termic, permițând difuziunea elementelor, conduce la o anumită omogenitate, dar incluziunile nemetalice nu sînt afectate și marchează direcția transversală într-o manieră ce nu lasă nici o îndoială.

În cazul oțelurilor impure, un corolaj prea mare conduce la o structură șistoasă care pe epruvetele de reziliență se manifestă prin casuri cu un aspect similar lemnului putred.

Rezistența la oboseală în direcție transversală va fi cu atât mai ridicată cu cît se vor evita structurile șistoase. Într-adevăr, J. Pomey și Ancelle au încercat un oțel aliat Ni-Cr, tratat pentru  $R = 980 \text{ N/mm}^2$ , avînd un fibraj accentuat; rezistența la oboseală la încoviere rotativă scade de la 540 la  $335 \text{ N/mm}^2$  cînd se trece de la epruvete prelevate în lung la epruvete prelevate transversal (fig. 4.23). Încercările efectuate pe epruvete crestate nu evidențiază nici o diferență, ceea ce ar indica că în prezența unei creștături ascuțite, orientarea fibrelor devine secundară.

Pentru alte oțeluri aliate Ni-Cr, influența fibrajului este mai puțin marcată, rezistența la oboseală variînd între  $422 - 490 \text{ N/mm}^2$  pe epruvete netede transversale și  $490 - 569 \text{ N/mm}^2$  pe epruvete longitudinale.

În tabelul 4.4. sînt prezentate rezistențele la oboseală, longitudinal și transversal, precum și rezistențele și alungirile la rupere, reziliența Mesnager pentru cîteva oțeluri carbon și speciale, tratate într-o manieră care să asigure rezistențe la rupere cuprinse între 834 și  $1\,069 \text{ N/mm}^2$ . Din aceste date, rezultă că pentru o reziliență longitudinală dublă în raport cu cea transversală, rezistența la oboseală este cu 30% mai mare. Pentru o reziliență longitudinală de patru ori mai mare, rezistența la oboseală poate fi aproape dublă. Rezultă că reziliența transversală permite să se caracterizeze fibrajul metalului.



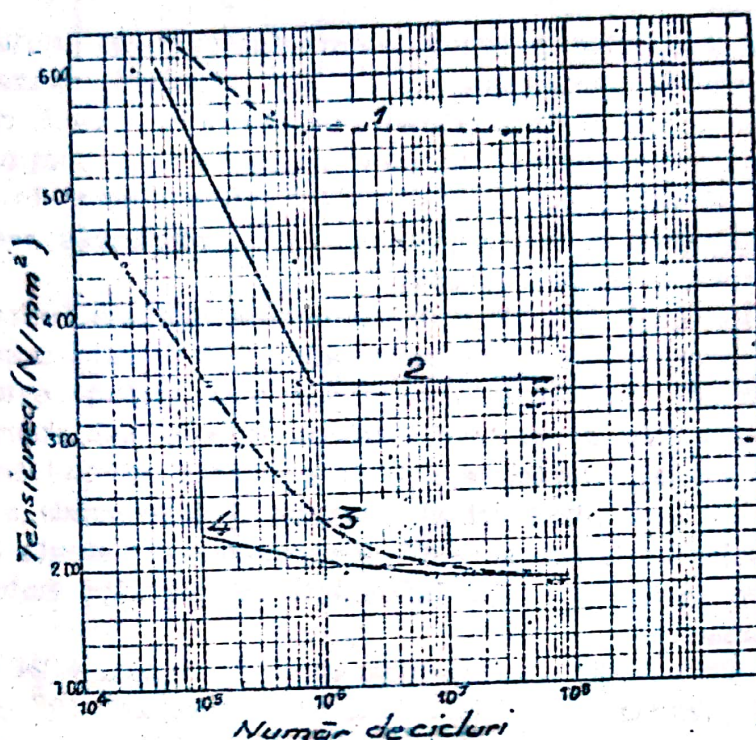


Fig. 4.23. Influența sensului fibrelor asupra rezistenței la oboseală a epruvetelor polise și, respectiv, crestate pentru un oțel aliat Ni-Cr

- 1 - curba corespunzătoare epruvetelor longitudinale, polise;
- 2 - curba corespunzătoare epruvetelor transversale, polise;
- 3 - curba corespunzătoare epruvetelor longitudinale, încreate;
- 4 - curba corespunzătoare epruvetelor transversale, încreate.

#### 4.2.5.2. Puritatea incluzionară

Puritatea incluzionară a unui oțel se referă la lipsa relativă a incluziunilor nemetalice în structura sa. Aceste incluziuni au, de obicei, un efect dăunător asupra comportamentului la oboseală al oțelurilor, în special în utilizările de lungă durată. Tipul, numărul, mărimea și distribuția incluziunilor nemetalice pot avea un efect mai puternic asupra rezistenței la oboseală a oțelului carbon și aliat decât di-



ferențele de compoziție chimică, microstructură sau gradient de tensiune. Incluziunile nemetalice sînt, totuși, rareori cauza care determină ruperea la oboseală a pieselor în serviciu; dacă rezistența la oboseală a fost determinată utilizînd epruvete care conțin incluziuni reprezentative similare cu cele din piese, orice efecte ale acestor incluziuni sînt încorporate în rezultate și, deci, preluarea acestor caracteristici în proiectare este corectă.

În cazul oțelurilor de rezistență ridicată, care lucrează sub tensiuni de serviciu mari, se recomandă, să se folosească oțelul cu puritate ridicată. Prezența incluziunilor mari trebuie evitată, mai ales în secțiunile critice și în zonele situate imediat sub suprafața acestor porțiuni ale piesei. Cerințele privind puritatea oțelului trebuie formulate știind că unui nivel dat al tensiunii îi corespunde o dimensiune critică a incluziunii; sub această dimensiune, rezistența la oboseală a oțelurilor de calitate nu este influențată de prezența incluziunilor în proporția obișnuită.

Astfel, din analiza diagramei din figura 4.24 rezultă că, odată cu micșorarea razei incluziunii, limita pentru  $10^6$  cicluri crește și anume de la  $\sqrt{-1} = 0,25 R$  pentru incluziuni disperse cu diametrul mediu de  $3 \times 10^{-3}$  mm, la  $\sqrt{-1} = 0,5 R$  pentru incluziuni disperse cu diametrul mediu cu atît mai mic cu cît oțelul are o rezistență mai mare.

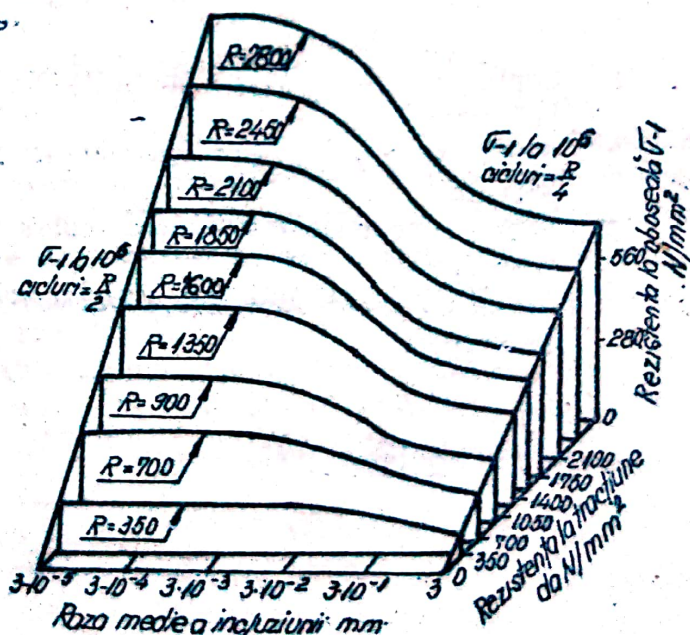


Fig. 4.24. Influența dimensiunilor incluziunilor asupra rezistenței la oboseală



TABELUL 4.4

| Compoziția chimică % |      |            |       |       |      |      |      | Tratamentul termic                            | Caracteristicile mecanice         |                                     |                        |              |                                   |                                     |                  |                                     |
|----------------------|------|------------|-------|-------|------|------|------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| C                    | Mn   | Si         | S     | P     | Ni   | Cr   | Mo   |                                               | Direc-<br>ția de<br>prelu-<br>are | R <sub>c</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | R<br>N/mm <sup>2</sup> | A<br>%       | KCU<br>300/2<br>J/cm <sup>2</sup> | σ <sub>R</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | σ <sub>R/R</sub> | $\frac{(\sigma_R)_T}{(\sigma_R)_L}$ |
| 0,320                | 0,44 | 0,28       | 0,020 | 0,015 | 2,82 | 0,80 |      | - călire ulei la 820°C<br>- revenire la 650°C | $\frac{L}{T}$                     | 785                                 | 873                    | 16           | 159,0<br>121,6                    | 530<br>417                          | 0,607<br>0,478   | 0,79                                |
| 0,315                | 0,35 |            | 0,025 | 0,022 | 2,56 | 0,80 |      | - călire ulei la 820°C<br>- revenire la 650°C | $\frac{L}{T}$                     | 804                                 | 932<br>903             | 8,2          | 115,3<br>29,3                     | 500<br>275                          | 0,536<br>0,304   | 0,55                                |
| 0,355                | 0,72 |            |       |       | 0,25 | 0,95 | 0,30 | - călire ulei la 950°C<br>- revenire la 650°C | $\frac{L}{T}$                     |                                     | 1074                   |              | 153,2<br>85,5                     | 486<br>422                          | 0,452<br>0,392   | 0,87                                |
| 0,360                | 0,57 | 0,27       | 0,008 | 0,010 | 0,40 | 0,93 | 0,30 | - călire ulei la 850°C<br>- revenire la 650°C | $\frac{L}{T}$                     | 971                                 | 1045                   | 14<br>11,5   | 163,5<br>100,5                    | 530<br>441                          | 0,507<br>0,422   | 0,82                                |
| 0,350                | 0,76 | Pb<br>0,14 |       |       | 0,25 | 1,05 | 0,30 | - călire ulei la 850°C<br>- revenire la 650°C | $\frac{L}{T}$                     |                                     | 1077<br>1074           |              | 141,5<br>36,2                     | 422<br>309                          | 0,392<br>0,288   | 0,72                                |
| 0,350                | 0,50 | 0,26       | 0,024 | 0,026 |      |      |      | - călire apă la 850°C<br>- revenire la 600°C  | $\frac{L}{T}$                     | 741<br>731                          | 853<br>834             | 13,3<br>6,75 | 135,0<br>23,2                     | 417<br>319                          | 0,489<br>0,382   | 0,76                                |
| 0,330                | 0,41 | 0,18       | 0,015 | 0,027 | 2,66 | 0,70 |      | - călire ulei la 850°C<br>- revenire la 600°C | $\frac{L}{T}$                     | 853                                 | 981<br>932             | 15           | 140,0<br>63,0                     | 540<br>324                          | 0,550<br>0,347   | 0,60                                |
| 0,370                | 0,27 | 0,29       | 0,010 | 0,012 | 2,66 | 0,81 |      | - călire ulei la 850°C<br>- revenire la 625°C | $\frac{L}{T}$                     | 863                                 | 907<br>902             | 11,5         | 212,0<br>150,0                    | 500<br>422                          | 0,552<br>0,468   | 0,84                                |



În cazul oțelurilor uzuale (cu rezistența la rupere  $\sigma_R$  1 350 N/mm<sup>2</sup>), folosite în construcția de mașini, rezistența la oboseală, determinată pe epruvete netede, este afectată de prezența incluziunilor nemetalice la valori ale acestora peste 3 - 30  $\mu$ m.

Pentru obținerea unei purități incluzionare ridicate este necesară folosirea de procedee de elaborare speciale ca: degazare, re-topire sub strat de zgură, retopiri în vid etc.

Elaborînd oțelul prin topire sub vid, incluziunile nemetalice sînt cu mult mai rare, mici și de formă globulară; rezistența la oboseală în direcție transversală se apropie ca valoare de rezistența la oboseală în direcție longitudinală. Ransom a obținut pe oțelul SAE 4340 (0,4C; 0,8Cr; 1,8Ni și 0,25Mo); elaborat sub vid, rezistențe la oboseală la încoviere repetată cu 50% mai mari decît pentru același oțel, de aceeași compoziție chimică și tratament termic, dar elaborat prin tehnologia clasică (tabelul 4.5).

TABELUL 4.5

| Caracteristica mecanică                         | Procedeul de elaborare |                      |
|-------------------------------------------------|------------------------|----------------------|
|                                                 | clasic                 | sub vid              |
| Duritatea Rockwell C                            | 27                     | 29                   |
| Rezistența la oboseală, long., $(\sigma_R)_L$   | 804N/mm <sup>2</sup>   | 961N/mm <sup>2</sup> |
| Rezistența la oboseală, transv., $(\sigma_R)_T$ | 545 "                  | 829 "                |
| Raportul $(\sigma_R)_T / (\sigma_R)_L$          | 0,68                   | 0,86                 |

1. Incercări de oboseală prin încoviere repetată
2. Compoziția chimică a oțelului elaborat clasic: 0,41C; 0,74 Mn; 0,26 Si; 1,77Ni; 0,88Cr; 0,27Mo; 0,022P și 0,017 S
3. Compoziția chimică a oțelului elaborat sub vid: 0,39C; 0,69Mn; 0,37Si; 1,78Ni; 0,97Cr; 0,31 Mo; P = 0 și S = 0.

Cummings și colaboratorii săi indică o diferență de 20% la rezistența la oboseală longitudinală în favoarea oțelului 4340 elaborat sub vid. Retopirea oțelului sub pat de zgură electroconductoare conduce, de asemenea, la o ameliorare sensibilă a rezistenței la oboseală. Astfel, Antolne și colaboratorii săi, au constatat, în comparație cu o elaborare clasică, o creștere a rezistenței la oboseală la încoviere rotativă de 13% în direcție longitudinală și de 18% în direcție transversală pentru oțelul de rulmenți, de 25% pentru oțelul franțuzesc 16NCD16,



tratat pentru  $1\ 360\ \text{N/mm}^2$ , de 30% în direcție longitudinală și de 70% în direcție transversală pentru un oțel francezesc, echivalent mărcii 33MoCr11, tratat pentru  $1\ 230\ \text{N/mm}^2$ .

Kuslitskii și colaboratorii săi au atribuit creșterea durabilității după retopirea sub pat de zgură nu numai purității metalului, care poate fi obținută și prin topirea cu arc sub vid, ci și mai marile compactități a metalului, determinată de o diminuare a defectelor și a porozităților.

Sims apreciază că un oțel foarte murdar pierde 15-20% din rezistența sa la oboseală, în timp ce un oțel curat câștigă 15-20% față de oțelurile de calitate aeronautică, luate ca referință. Rezultă că influența purității incluzionare a oțelului este de același ordin de mărime ca dispersia încercărilor de oboseală. Ea este, deci, dificil de pus în evidență.

#### 4.2.5.3. Constituenții structurali

Rezistența la oboseală este optimă în cazul în care structura după călire conține un procent cât mai ridicat de martensită. Așa cum se arată în figura 4.25, rezultate bune se obțin în cazurile în care procentul de martensită depășește 90%. Apoi se aplică o reîntindire

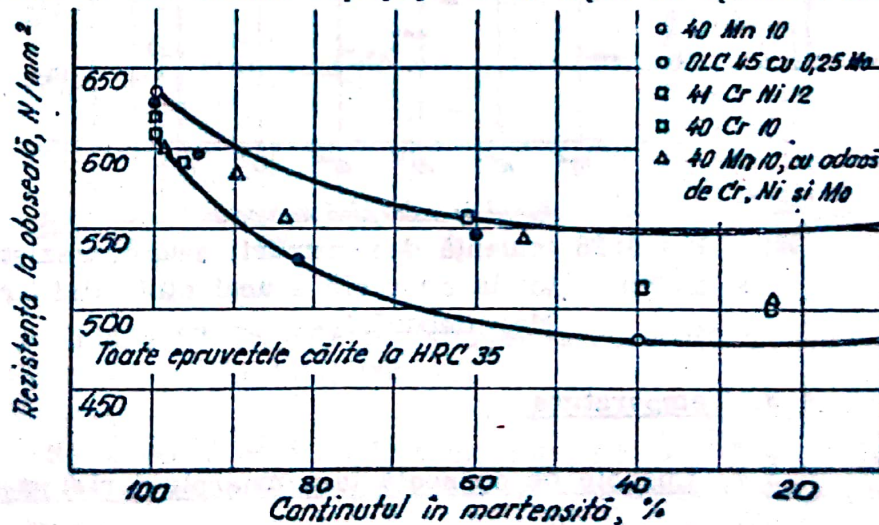


Fig. 4.25 Influența conținutului de martensită după călire asupra rezistenței la oboseală

pentru obținerea caracteristicilor de rezistență dorite. Structurile perlitice, în special cele cu perlită grosieră, au o rezistență la oboseală relativ mică.



Granulația oțelului influențează indirect comportarea la oboseală prin efectul său asupra rezistenței oțelului. Oțelurile cu granulație fină au rezistențe mai mari la oboseală decât oțelurile cu granulație grosieră.

Un efect important asupra rezistenței la oboseală îl are stratul decarburat. Semnificative sînt datele din figura 4.26, care se referă la un oțel aliat Cr-Ni-Mo îmbunătățit la o rezistență la tracțiune de  $1\,860\text{ N/mm}^2$ . Stratul decarburat a fost de  $0,1 - 0,7\text{ mm}$ . Influența celorlalți factori metalurgici rezultă din datele prezentate în celelalte paragrafe ale acestui capitol.

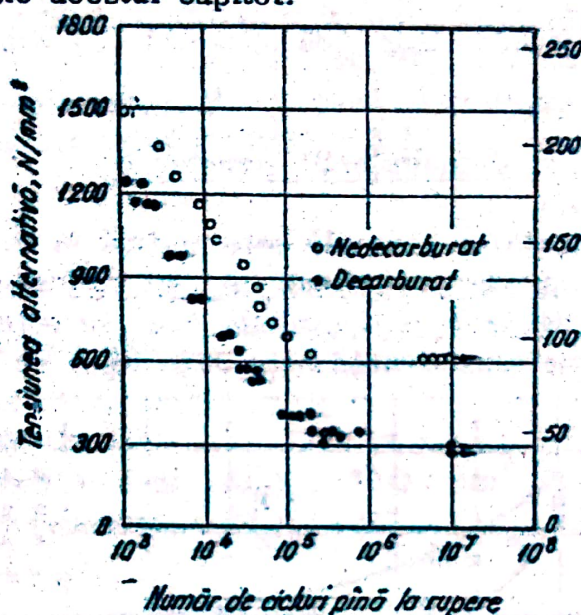


Fig. 4.26 Influența decarburării asupra rezistenței la oboseală a unui oțel aliat Cr-Ni-Mo, îmbunătățit

### 4.3. Temperatura

#### 4.3.1. Curbele de oboseală la temperaturi ridicate

La temperaturi de încercare moderate (oțelurile feritice pînă la  $400^\circ\text{C}$ , iar cele austenitice pînă la  $500^\circ\text{C}$ ), forma curbelor de oboseală este identică cu aceea obținută în cazul încercărilor la temperatura mediului ambiant. Ca urmare, curba de oboseală în coordonate semilogaritmice ( $\sigma - \log N$ ) se compune din două segmente de dreaptă racordate între ele, dintre care un segment este paralel cu axa numărului de cicluri. La aceste temperaturi, oțelurile au o rezistență la oboseală bine precizată, tensiunile mai mici decît ea neputînd practic să determine ruperea prin oboseală.



Cu creșterea, în continuare, a temperaturii, porțiunea dreaptă, înclinată, tinde să se apropie de orizontală, în timp ce porțiunea orizontală tinde să se încline, apropiindu-se de direcția porțiunii înclinate. Dacă temperatura de încercare crește în continuare, cele două ramuri ale curbei tind să se așeze una în prelungirea celeilalte. Această situație se întâlnește în cazul încercărilor la oboseală a numeroase oțeluri și aliaje refractare. Astfel, în figura 4.27 sînt prezentate curbele de oboseală ale oțelului 20Cr130, încercat la diferite temperaturi.

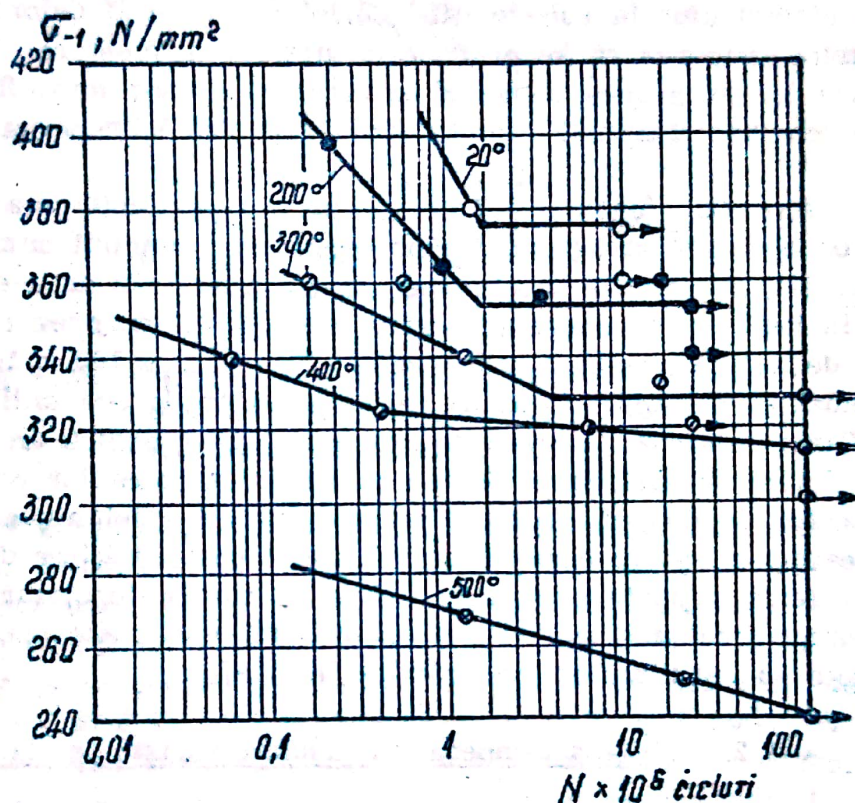


Fig. 4.27 Curbele rezistenței la oboseală a oțelului 20Cr130

Se observă că încă la temperatura de 500°C se obține o curbă de oboseală de forma unei drepte. Curbe asemănătoare se obțin și în cazul încercării oțelurilor austenitice, însă la temperaturi de peste 600°C.

Existența a două forme distincte ale curbei de oboseală, care materializează corelația dintre tensiunea de încercare și durabilitatea epruvetei, se datorează transformărilor interne ce se produc în metal la tensiuni mari sau mici, la diferite temperaturi.

Astfel, la tensiuni mari, în raport cu rezistența la oboseală, ruperea se produce după deformații plastice apreciabile, ca urmare a



depășirii limitelor de curgere; aceste deformări sînt puse în evidență chiar și la temperatura camerei (atît la nivelul microscopic, în cazul ciclurilor asimetrice, cît și microscopic, în cazul ciclurilor simetrice). Ca fenomene însoțitoare pot fi citate îmbătrînirea mecanică (creșterea rezistenței și scăderea plasticității metalului), relaxarea tensiunilor etc.

La tensiuni mici, apropiate de rezistența la oboseală, numărul de cicluri pînă la rupere fiind destul de mare și deformările plastice mici, ruperea nu se produce ca urmare a acestora. În aceste cazuri, are loc un proces complex de formare a unor microfisuri în zonele de tensiune maximă, care progresează pînă la ruperea metalului.

Apariția fenomenului de înclinare a porțiunii orizontale a curbelor de oboseală atrage după sine necesitatea măririi numărului de cicluri la care se oprește încercarea, în cazul în care nu s-a rupt epruveta. În legătură cu aceasta, pentru temperaturi nu prea ridicate, s-a luat, de regulă, ca bază a încercării  $N = 50 \dots 100 \times 10^6$  cicluri. S-au efectuat și încercări luînd ca bază un număr de 300 milioane de cicluri. Panta continuă a curbei de oboseală, chiar pentru un număr mare de cicluri de solicitare, indică posibilitatea ruperilor prin oboseală a organelor de mașini, în cazul unei exploatare îndelungate. Referitor la aceasta, a apărut necesitatea analizării posibilităților de extrapolare a datelor obținute prin încercări la un număr de cicluri relativ limitat pentru cazul unui număr de cicluri mult mai mare (caz similar cu extrapolarea rezultatelor încercărilor la fluaj).

#### 4.3.2. Influența temperaturii asupra rezistenței la oboseală

Rezistența la oboseală este, pentru anumite oțeluri, mai mare la temperaturi în jur de  $300 - 350^\circ\text{C}$  decît la temperatura mediului ambiant și scade apreciabil, odată cu creșterea temperaturii peste  $350^\circ\text{C}$ . Pentru alte oțeluri, din contră, se observă o scădere continuă a rezistenței la oboseală, din momentul în care temperatura de încercare depășește temperatura mediului ambiant. Modul de variație a valorii rezistenței la oboseală, în funcție de temperatură, depinde de tipul oțelului.

Spre exemplificare, în figura 4.28 sînt prezentate curbele de variație a rezistenței la oboseală în funcție de temperatură, corespunzătoare unor oțeluri inoxidabile ferito-martensitice. Se constată că oțelul 30Cr130 prezintă o creștere a rezistenței la oboseală în zona temperaturilor de  $300-400^\circ\text{C}$ , în timp ce celelalte două tipuri de oțel au în domeniul de temperaturi arătat cel mult o tendință de menținere pe palier. După depășirea temperaturii de  $450^\circ\text{C}$ , se produce o scăde-



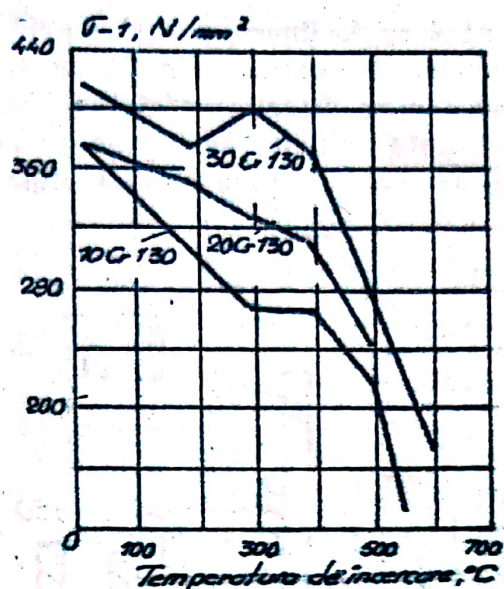


Fig. 4.28. Variația rezistenței la oboseală în funcție de temperatură în cazul unor oțeluri ferito-martensitice de tip 13%Cr

re accentuată a rezistenței la oboseală la toate tipurile de oțel din această clasă. Rezistența la oboseală a oțelurilor ferito-martensitice depinde, în mare măsură, de conținutul de carbon al acestora. Cu cât conținutul de carbon este mai ridicat cu atât crește și rezistența la oboseală, fapt ce se poate constata și în figura 4.28, unde la oțelurile prezentate conținutul de carbon variază între 0,10 și 0,30%. Nu trebuie neglijată, însă, nici influența pe care o au elementele de aliere, specifice oțelurilor termostabile ferito-martensitice, ca molibdenul, vanadiul și wolframul.

O situație similară se întâlnește și în cazul oțelurilor austenitice, deosebirea constând în aceea că micșorarea rezistenței la oboseală, ca urmare a creșterii temperaturii de încercare, este mai accentuată abia după 500°C.

#### 4.3.3. Influența concentratorilor asupra rezistenței la oboseală la temperaturi ridicate

Cunoașterea efectului concentratorilor, în condițiile temperaturilor superioare temperaturii mediului ambiant, prezintă o importanță deosebită pentru utilizarea la cald a aliajelor supuse la oboseală,



datorită faptului că în practică se întâlnesc cazuri foarte rare când piesele au o formă fără schimbări de secțiune. În figura 4.29 se prezintă influența concentratorilor asupra diferitelor oțeluri, la temperaturile de 20°C și 500°C. Rezultatele obținute de Wever se referă la un ciclu simetric cu frecvența de 500 ... 1000 cicluri/min. și  $N_B = 5 \times 10^6$

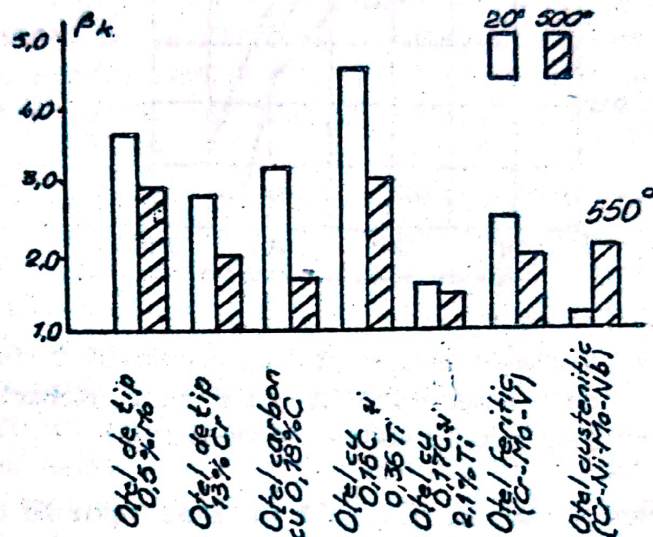


Fig. 4.29. Coeficientul efectiv de concentrare a tensiunilor la un ciclu simetric (tracțiune-compresiune) la temperaturile de 20 și 500°C

cicluri. Concentratorul reprezentat printr-o creștătură în formă de V a avut adâncimea de 1 mm, raza la fund de 0,2 mm și unghiul de 60°. Cu excepția oțelului austenitic, coeficientul de concentrare la temperatura de 500°C are, în toate cazurile, o valoare mai mică decât la temperatura de 20°C. Oțelul inoxidabil austenitic aliat cu 18% crom, 10% nichel, 2,5% molibden și niobiu prezintă o sensibilitate suficient de scăzută, la temperaturi ridicate, față de concentratorii de tensiune, fapt ce se poate constata și în figura 4.30, în care se prezintă rezultatele încercărilor la fluaj și oboseală ale aceluiași oțel.

M. Weisz a studiat variația rezistenței la oboseală la încoviere rotativă (la 30 milioane de cicluri) a unui oțel de tip 41MoCr11 până la temperaturi de 650°C pe epruvete netede și cu concentrator. Rezultatele sînt indicate în figura 4.31 și arată că rezistența la oboseală, în cazul epruvetelor netede, trece printr-un maxim la temperatura de



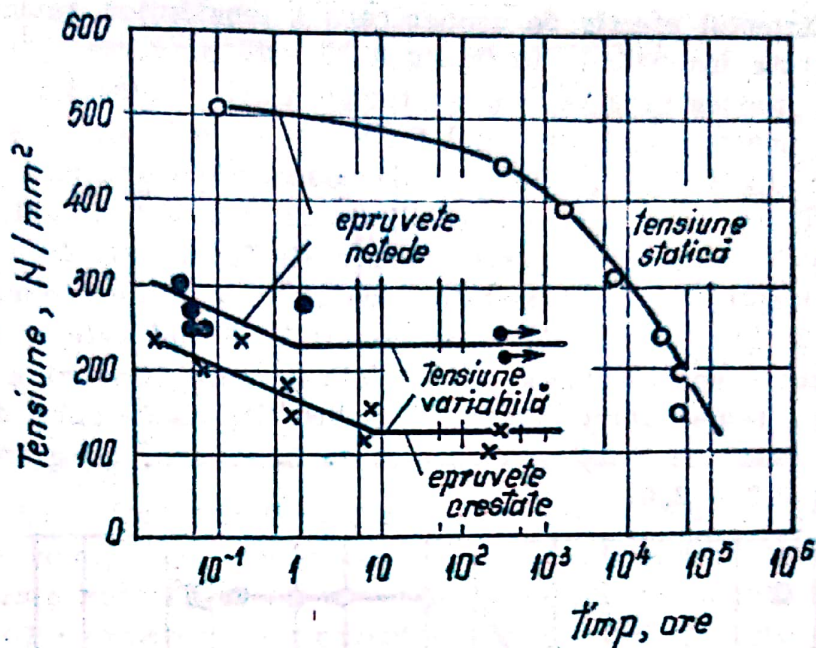


Fig. 4.30. Rezultatele încercărilor statice și la oboseală la 550°C ale unui oțel inoxidabil Cr-Ni-Mo

● epruvete netede  
x epruvete crestate

450°C, în timp ce în cazul epruvetelor cu concentrator, maximumul se situează la 550°C. Coeficientul de concentrare variază cu temperatura, avînd un maxim la 375°C. Acest rezultat poate fi interpretat drept o consecință a îmbătrînirii în cursul încercării la oboseală și se explică prin diminuarea capacității de deformare plastică la fundul creștăturii.

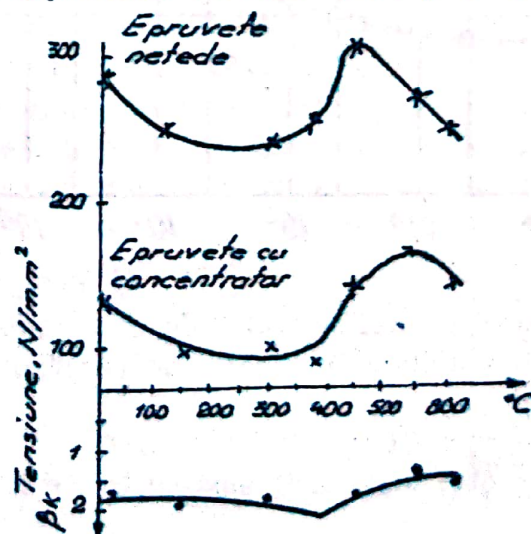


Fig. 4.31. Variația rezistenței la oboseală și a coeficientului de concentrare, în funcție de temperatură, la oțelul de tip 41MoCr11



Coeficientul efectiv de concentrare a tensiunilor variază și în funcție de durata încercării. În figura 4.32 este prezentată variația coeficientului de concentrare la diferite temperaturi, în funcție de durata încercării, pentru cazul unui oțel feritic și al unui oțel austenitic. La oțelul feritic (fig. 4.32a), coeficientul de concentrare prezintă la temperatura de 20°C un maxim la o durabilitate de  $5 \times 10^5$  cicluri, rămânând apoi practic constant și pentru durate ale încercării de circa 300 ore. Coeficientul  $\beta_K$  la temperatura de 20°C în cazul oțelului austenitic (fig. 4.32 b) oscilează în jurul valorii 1. Astfel este confirmată și în acest caz - sensibilitatea redusă față de concentratori a oțelului austenitic. La temperaturi ridicate (550-650°C), coeficientul de concentrare crește odată cu creșterea duratei de încercare, atingând ca valoare maximă 1,9 - 2,0.

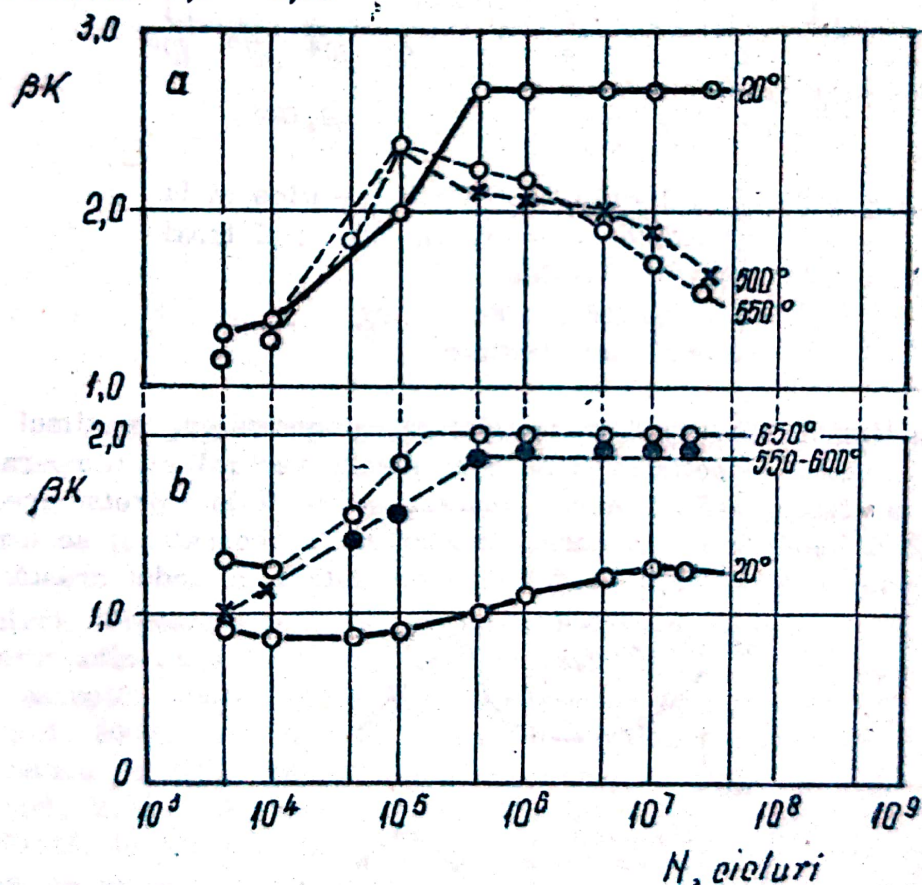


Fig. 4.32. Variația coeficientului de concentrare a tensiunilor în funcție de numărul de cicluri  
a - oțel Cr-Mo-V cu 0,23%C  
b - oțel inoxidabil austenitic Cr-Ni-Mo-Nb



#### 4.3.4. Influența frecvenței de încercare

La prelucrarea rezultatelor încercărilor la oboseală, efectuate în condiții de temperaturi superioare temperaturii mediului ambiant, trebuie avut în vedere că, în cazul încercărilor la încovolere, calculul tensiunilor cu formula stabilită în ipoteza valabilității legii lui Hooke nu este aplicabil nici chiar pentru tensiuni situate sub limita de curgere. Aceasta se explică prin relaxarea tensiunilor în timp, datorită fluajului. De aceea, condiția obișnuită a conservării coeficientului de asimetrie a ciclului, pusă la baza trasării curbelor de oboseală în condițiile temperaturilor superioare temperaturii mediului ambiant, este greu de realizat.

Unul din factorii, care caracterizează fluajul, este timpul. Pe de altă parte, după cum rezultă din cele arătate în paragrafele anterioare, este necesar să se mărească numărul ciclurilor de solicitare pentru determinarea unor caracteristici cât mai corecte din punct de vedere al aplicabilității lor în calcul. Dat fiind numărul mare de cicluri, ce rezultă ca fiind necesar pentru aceste încercări, s-a urmărit mărirea frecvenței ciclurilor de solicitare, ceea ce va conduce la micșorarea duratei lor. Pentru a se cunoaște modul în care frecvența de solicitare influențează rezultatele încercărilor la oboseală la temperaturi superioare temperaturii mediului ambiant, s-au efectuat numeroase încercări ale aceluiași material, la aceeași temperatură, dar cu frecvențe diferite. Dintre cele mai edificatoare sînt încercările lui Tapsel, care încercînd un oțel cu conținut redus de carbon ( $C=0,17\%$ ) la diferite temperaturi ( $20-500^{\circ}\text{C}$ ) și cu frecvențe variînd între 10 și 2 000 cicluri pe minut, a ajuns la concluzii, care au fost confirmate și de alte lucrări. Rezultatele reprezentative sînt indicate în figura 4.33 sub forma a trei curbe de variație a rezistenței la oboseală, în funcție de temperatură și frecvența de încercare. De menționat că alegerea frecvenței și numărul de cicluri  $N_B$  s-a făcut în așa fel încît, prin compararea rezultatelor, se pot trage următoarele concluzii:

- la aceeași durată a încercării (cca 830 ore), la frecvențe diferite, în cazul frecvențelor mai mari rezistența la oboseală are valori mai mici (cu cca 30% la  $275^{\circ}\text{C}$ );

- la aceeași frecvență (2 000 cicluri/min.), la un număr mai mare de cicluri de solicitare rezistența la oboseală are valori mai mici (cu cca 40% la  $250^{\circ}\text{C}$ );

- la același număr de cicluri  $N_B$  ( $5 \times 10^5$ ), dar cu frecvențe diferite, în cazul frecvențelor mai mari rezistența la oboseală este mai mare în cazul temperaturilor mai ridicate și mai mică la temperaturi mai mici (sub  $350^{\circ}\text{C}$ ).



Se remarcă faptul că în domeniul 350-450°C, care este situat în zona temperaturilor limită de utilizare a acestor oțeluri, cele trei curbe, deși sînt destul de apropiate, prezintă diferențe între ele. Din cele arătate, rezultă că pentru determinarea rezistenței la oboseală la un număr de cicluri  $N_B$  dat este esențială frecvența de variație a tensiunilor.

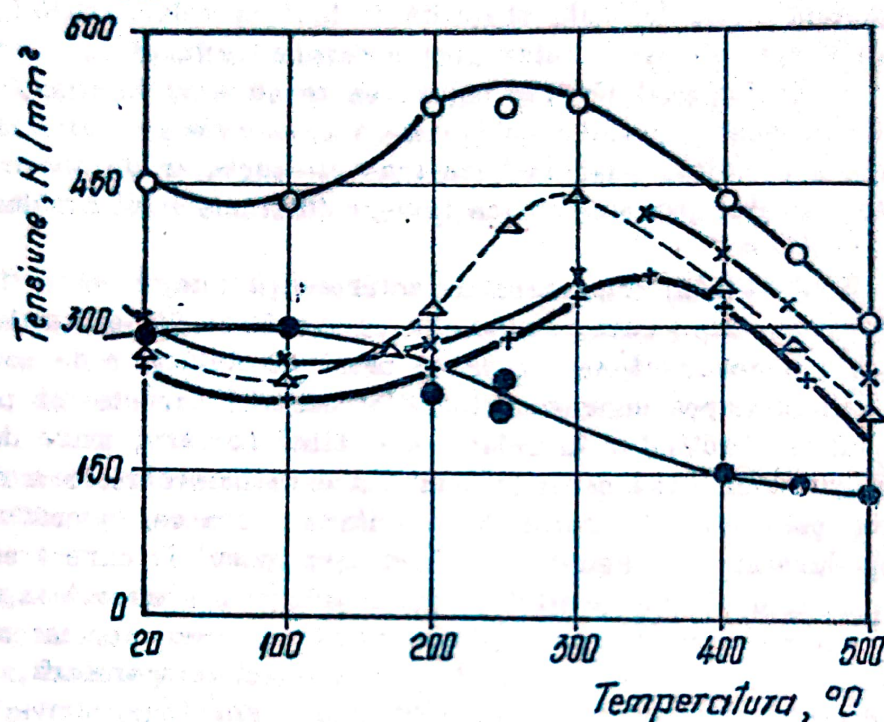


Fig. 4.33. Influența temperaturii și frecvența ciclurilor asupra rezistenței la oboseală la încovoiere a unui oțel cu 0,17%C (tip OL 37)

- rezistența la tracțiune
- limita de curgere
- x rezistența la oboseală la  $N_B = 5 \times 10^5$  cicluri și frecvența de 2 000 cicluri/min.
- + rezistența la oboseală  $N_B = 10^8$  cicluri și frecvența de 2 000 cicluri/minut
- Δ rezistența la oboseală la  $N_B = 5 \times 10^5$  cicluri și frecvența de 10 cicluri/minut.

În figura 4.34 sînt reprezentate - în coordonate "timp-tensiune reală maximă" - rezultatele încercărilor la oboseală la 450°C ale aceluiași oțel. Tensiunea reală maximă s-a calculat cu luarea în considerare a redistribuirii în timp a tensiunilor datorită fluajului. Se observă că influența frecvenței este neînsemnată în cazul reprezentării în



coordonate timp-tensiune maximă reală, însă punctele experimentale prezintă o dispersie destul de mare.

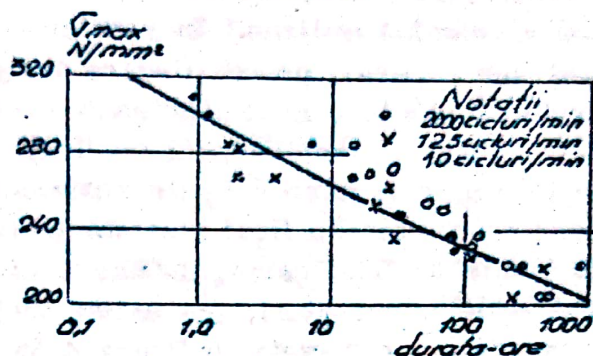


Fig. 4.34. Curba rezistenței la oboseală a unui oțel cu 0,17%C încercat la temperatura de 450°C, cu frecvențe diferite

#### 4.3.5. Influența asimetriei ciclurilor de solicitare

Asimetria ciclului joacă un rol important asupra comportării metalului în condiții de solicitări variabile la temperaturi superioare temperaturii mediului ambiant, deoarece fenomenul de fluaj, care are un rol neînsemnat în cazul ciclului simetric, devine periculos în cazul ciclurilor asimetrice. Această influență a fost pusă în evidență, la început, în cazul metalelor la care fluajul este important chiar la temperatura mediului ambiant. Ulterior, el a fost sesizat și în cazul oțelurilor și aliajelor refractare, unde fenomenul este mai complex. La temperaturi superioare temperaturii mediului ambiant, precipitarea constituenților va fi accelerată ca urmare a tensiunilor variabile, ceea ce va conduce la o durificare însoțită de o ameliorare a comportării aliajelor. Unele din aceste concluzii au fost confirmate și de cercetările efectuate la Institutul de Cercetări Metalurgice București pe un oțel de tip 1% Cr-0,5% Mo, la temperaturi de 400-600°C. La temperaturi mai joase acest efect este neglijabil.

În general, se consideră că se deosebesc trei domenii caracteristice de temperatură și anume:

- moderate în care fenomenul de fluaj poate fi neglijat;
- ridicate în care ruperea este condiționată de fluaj și oboseală;
- înalte în care ruperea este condiționată, în principal, de fluaj.

Grütler și Schmidt au trasat - pe baza rezultatelor obținute prin încercarea unor oțeluri la temperaturi superioare temperaturii me-



diului ambiant - diagrama rezistenței la tensiuni variabile, pentru diferiți coeficienți de asimetrie a ciclurilor, prezentată schematic în figura 1.9.

Dacă se precizează starea limită, care nu trebuie depășită de metal pentru ca el să rămână utilizabil în serviciu (deformație permanentă limită impusă sau rupere), pentru fiecare temperatură există o valoare limită a tensiunii statice, ce delimitează zona în care deteriorarea se produce ca urmare a fenomenului de fluaj.

În funcție de raportul între valorile rezistenței la oboseală ( $\sigma_{-1}$ ) și ale caracteristicilor de fluaj (rezistența la fluaj corespunzătoare la  $h$  ore sau limita de fluaj corespunzătoare unei deformații plastice  $\epsilon$ ) pentru diferite temperaturi, pot exista trei tipuri de curbe limită ale aceluiași material, prezentate în figura 4.35.

Temperatura de încercare la care valorile tensiunilor corespunzătoare rezistenței la oboseală și a caracteristicii de fluaj sînt egale, a fost denumită de Grütler și Schmidt temperatură de inversiune (fig. 4.35 b).

Legat de influența asimetriei ciclului asupra curbei ciclurilor limită este necesar să amintim și influența acesteia chiar asupra formei curbelor de oboseală. Astfel, în figura 4.36 sînt prezentate rezultatele unor încercări la oboseală efectuate pe oțelul de tip 0,12%C;

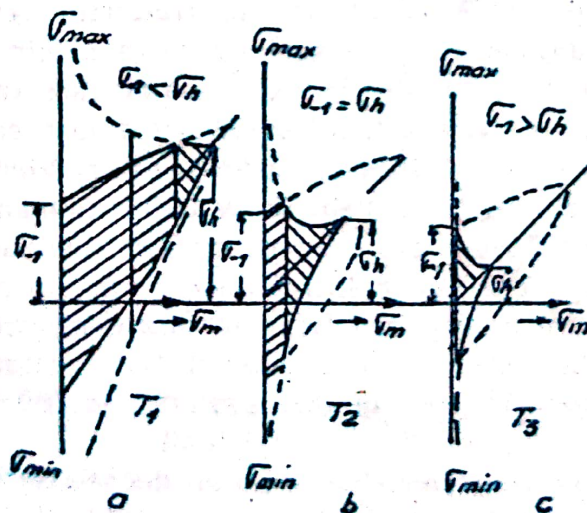


Fig. 4.35. Diagrame schematice, la diferite temperaturi, privind influența temperaturii și a fenomenului de fluaj asupra curbei ciclurilor limită



15%Cr; 35%Ni; 1%Ti; 3% W la temperatura de 650°. Se constată că odată cu creșterea valorii tensiunii medii are loc o modificare a pantei curbelor de oboseală și a punctului de inflexiune.

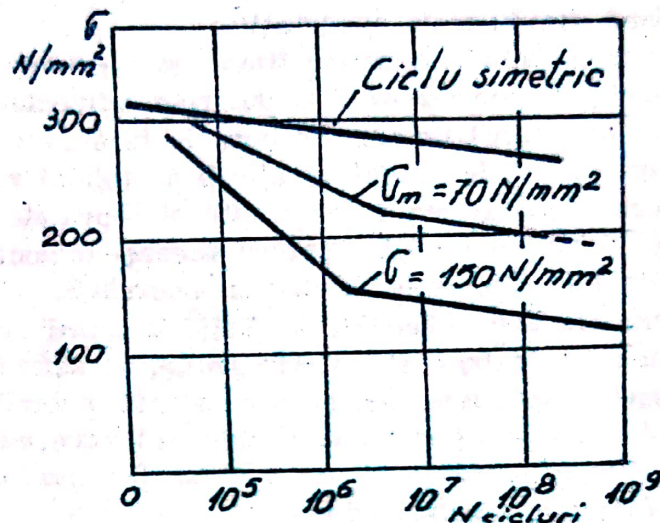


Fig. 4.36. Curbele de oboseală ale oțelului de tip Cr-Ni-W-Ti, încercat la 650°C

Deoarece calculul se poate efectua corect în asemenea cazuri numai pe baza diagramelor ciclurilor limită, un număr însemnat de cercetări s-a preocupat de trasarea lor. Dintre diagramele reprezentative se indică în figura 4.37 diagrama ridicată pentru oțelul cu 0,40%C; 1,75%Ni; 0,85%Cr; 0,25%Mo, încercat la diferite temperaturi,

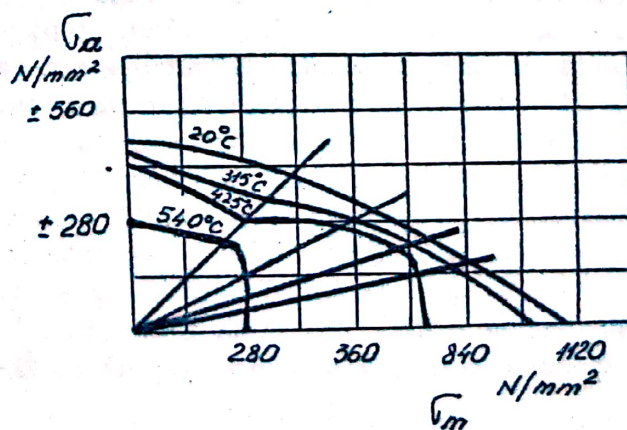


Fig. 4.37. Diagramele ciclurilor limită ale oțelului cu 0,40%C; 1,75%Ni; 0,85%Cr; 0,25%Mo, încercat la diferite temperaturi,  $N_B=15 \times 10^6$  cicluri (120 ore)



și în figura 4.38 diagramele ridicate în cazul oțelului de tip 0,12%C; 15% Cr; 35%Ni; 1%Ti; 3%W pentru diferite durate de încercare la temperatura de 650°C.

Analiza curbelor reprezentative din figura 4.37 permite să se facă următoarele observații:

- alura curbelor ciclurilor limită și suprafața cuprinsă între acestea și axele de coordonate sînt puternic influențate (pentru aceeași durată de încercare) de temperatura de încercare; această influență este legată direct de gradul de aliere a oțelului respectiv;

- alura curbelor ciclurilor limită și suprafața cuprinsă între acestea și axele de coordonate, pentru aceeași temperatură de încercare, sînt puternic influențate de durata încercării.

Ca urmare a fenomenului de fluaj, în cazul ciclurilor asimetrice, la proiectare trebuie să se țină seama de deformația plastică admisibilă a piesei respective, deoarece suprafața ciclurilor admisibile se micșorează corespunzător cu zona cuprinsă între curba ciclurilor limită ce determină ruperea și curba ciclurilor limită ce determină o anumită deformație plastică admisibilă.

Liharev și Malinin propun ca influența timpului asupra rezistenței la oboseală, în cazul temperaturilor superioare temperaturii mediului ambiant, să fie pusă în evidență cu ajutorul diagramei tridimensionale a rezistenței la oboseală, reprezentată în figura 4.38. Această diagramă se trasează în sistemul de coordonate  $\sigma_m - \sigma_a - t$ . Pentru  $t = 0$ , amplitudinea maximă a ciclului funcție de tensiunea maximă este reprezentată prin dreapta AB, care taie pe axele de coordonate

$\sigma_m - \sigma_a$  segmente egale cu rezistența de rupere  $\sigma_r$ . Aceasta se explică prin aceea că, în cazul unui singur ciclu, tensiunea maximă este egală cu rezistența la rupere. Pentru o valoare oarecare a timpului  $t = h_1$ , curba limită CD taie pe axa absciselor un segment egal cu rezistența la fluaj  $\sigma_r/h_1$ , iar pe axa ordonatelor un segment egal cu rezistența la oboseală. Numărul de cicluri corespunzător timpului  $t=h_1$  este determinat de frecvența de variație a tensiunii. Diagrama ciclurilor limită EF pentru o bază de încercare  $N_B$  corespunde duratei  $t=h_2$ .

În felul acesta, suprafața ABFE reprezintă suprafața rezistenței la oboseală, iar curba ACE - diagrama rezistenței la fluaj.

În cazul în care în calcul este necesar să se țină seama de



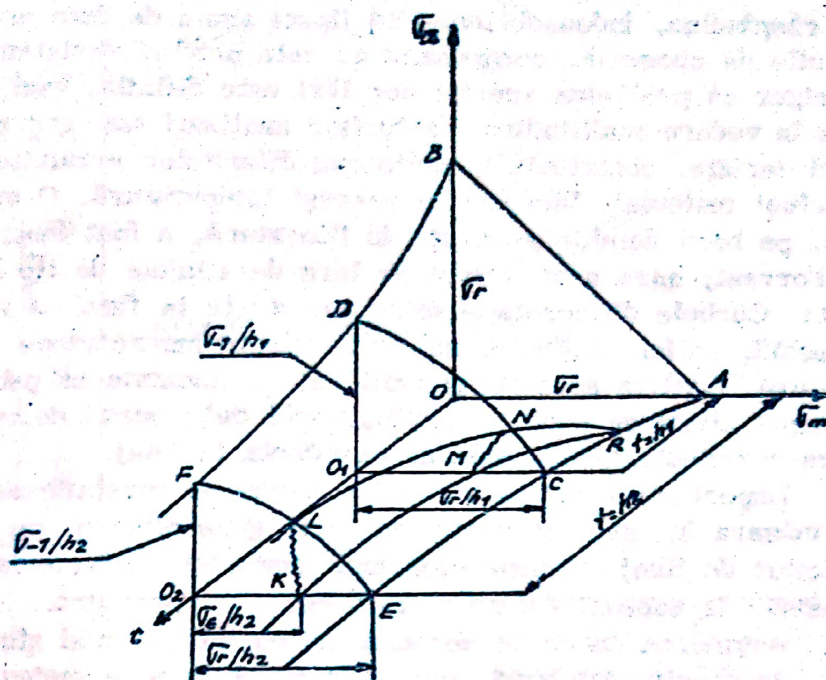


Fig. 4.38. Diagrama tridimensională a rezistenței la oboseală la cald

deformația plastică admisibilă, ce la naștere în timpul exploatării, pe diagrama rezistenței la oboseală se trasează-pentru valoarea aleasă a timpului-diagrama tensiunii variabile (funcție de tensiunea medie, KL pentru  $t = h_2$  și MN pentru  $t = h_1$ ) pentru care mărimea deformației plastice atinge o valoare determinată,  $\epsilon$ , admisibilă pentru condițiile de exploatare ale piesei. În acest fel, punctele situate în domeniile  $O_2FLK$  și  $O_1DNM$  reprezintă cicluri la efectuarea cărora nu se produce ruperea, iar deformațiile plastice care au naștere sînt mai mici decît valoarea aleasă  $\epsilon$  pentru o valoare a timpului egală cu  $h_2$ , respectiv  $h_1$ . Linia LNR, situată pe suprafața limită, este locul geometric al punctelor reprezentînd cicluri limită la efectuarea cărora deformația plastică, în momentul ruperii, este egală cu  $\epsilon$ .

#### 4.3.6. Corelații între rezistența la oboseală la cald și rezistența la fluaj

Pe măsura sporirii numărului de date privind rezistența la oboseală la temperaturi superioare temperaturii mediului ambiant, a crescut tendința ca acestea să se coreleze cu alte caracteristici de calcul, în principal cu rezistența la fluaj. Această tendință a căpătat o



oarecare răspîndire, îndeosebi datorită lipsei acute de date privind caracteristicile de oboseală, comparativ cu cele privind rezistența la fluaj. Desigur că problema acestei corelări este dificilă, mai ales dacă se are în vedere multitudinea factorilor analizați mai sus și care, cu ponderi variate, contribuie la obținerea diferitelor rezultate, chiar pentru același material, încercat la aceeași temperatură. O analiză științifică, pe baza datelor existente în literatură, a fost făcută de Allen și Forrest, care s-au ocupat pe larg de aliajele de tip Rex, G și Nimonic. Curbele de corelație între rezistența la fluaj și rezistența la oboseală, astfel obținute, au avut la bază încercări de 10 pînă la 10 000 ore. Analiza acestora permite să se constate că pentru șase din cele șapte aliaje se poate, practic, vorbi de o curbă de corelație unică între rezistența la oboseală și rezistența la fluaj.

Importanța practică a acestor curbe de corelație este de reținut, în măsura în care pot să indice, prin generalizare, pe baza caracteristicilor de fluaj cunoscute ale unui material, caracteristicile sale de oboseală la aceeași durată și la aceeași temperatură.

Asemenea curbe de corelare se pot utiliza mai ales pentru extrapolări la durate mai lungi, numai în cazul în care materialul respectiv este relativ stabil din punct de vedere metalurgic. Dacă, însă, materialul prezintă o instabilitate a structurii, atunci forma curbei de corelare poate suferi astfel de modificări încît calculul de rezistență bazat pe aceasta este periculos.

Aceste corelații au un caracter aproximativ și permit să se determine rezistența la oboseală cu o precizie de  $\pm 10\%$ , dacă este cunoscută forma generală a curbei de corelație. În diagrama din figura 4.39 sînt prezentate curbele experimentale de corelație între rezistența la oboseală și rezistența la fluaj pentru trei oțeluri românești, studiate la Institutul de Cercetări Metalurgice București. Ele au fost trasate luînd în considerare puncte corespunzătoare aceleiași durate de încercare. Analiza datelor, care au servit la construirea lor, permite următoarele observații:

a. Dacă se corelează rezultatele încercării aceluiași material la aceeași temperatură și aceeași durată se obține o curbă de variație care, pentru cazurile studiate, este o dreaptă, împrăștierea punctelor experimentale fiind în limite acceptabile.

b. Dacă se corelează rezultatele încercării aceluiași material la temperaturi diferite și aceeași durată a încercării se obține o curbă de variație care, pentru cazurile studiate, este o curbă de ordin superior, împrăștierea punctelor experimentale fiind încă în limite acceptabile. Astfel, se confirmă rezultatele obținute de Allen și Forrest pe aliajele de tip Rex și Nimonic și se infirmă concluziile la care a



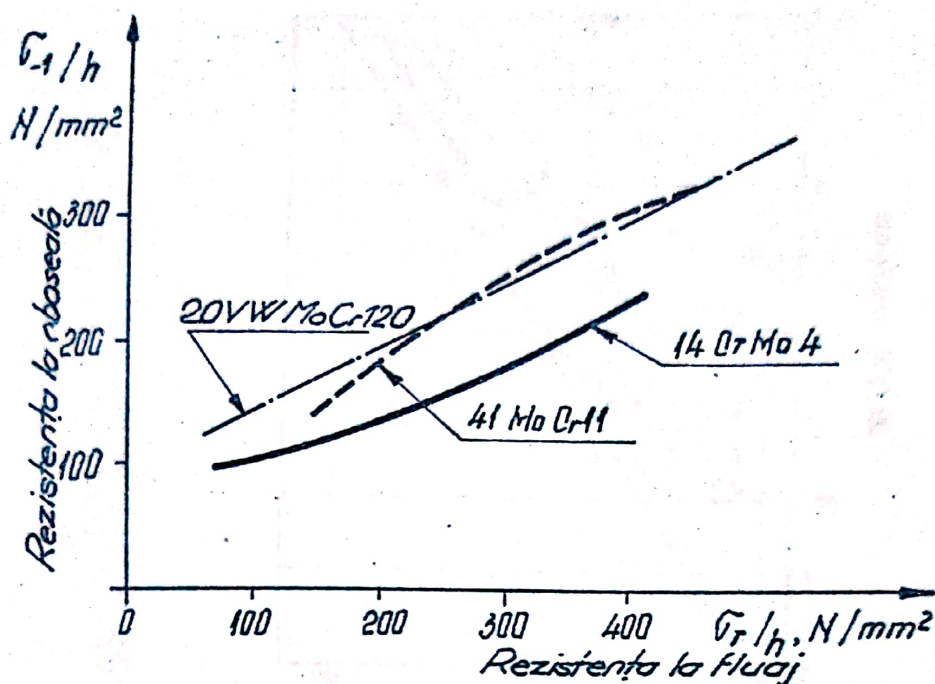


Fig. 4.39. Curbele de corelație între rezistența la oboseală și rezistența la fluaj pentru trei oțeluri românești

ajuns Buch, pe baza unor cercetări proprii și a interpretării unor date din literatură, prin care susține că această curbă de corelație este o dreaptă. Dealtfel Buch, în stabilirea acestor drepte de corelație, nu ține seama de factorul timp.

Comportarea materialelor, utilizate la temperaturi ridicate în condiții de oboseală, prezintă o importanță deosebită, fapt relevat și de includerea în normativele de calcul a unor prescripții detaliate referitoare la această problemă. Astfel codul ASME cuprinde curbele de proiectare la oboseală pentru diferite materiale feroase și neferoase, curbe care acoperă domeniul de temperaturi ridicate până la 426°C. În industrie, însă, se întâlnesc numeroase cazuri în care temperaturile de funcționare ale elementelor componente ale utilajelor depășesc sensibil această limită. Apreciind că până la nivelul temperaturilor ridicate, indicate în normativele de calcul, problemele sînt relativ clare, în paragraful de față se prezintă aspectele referitoare la comportarea materialelor utilizate la cald în condiții de solicitări variabile la temperaturi superioare celor pentru care sînt stabilite curbe de proiectare la oboseală. Se remarcă faptul că odată cu creșterea temperaturii are loc și o mărire a vitezei de propagare a fisurii de oboseală. Astfel, în



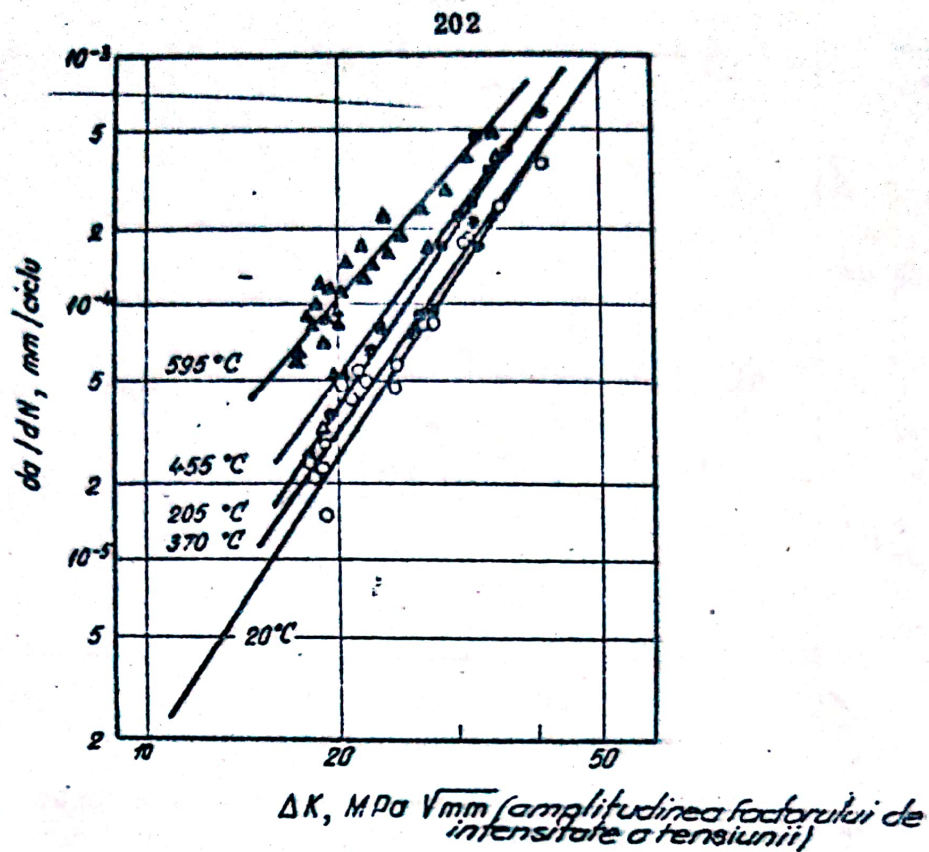


Fig. 4.40. Viteza de creștere a fisurii de oboseală, în funcție de temperatură la oțelul de tip 10CrMo10

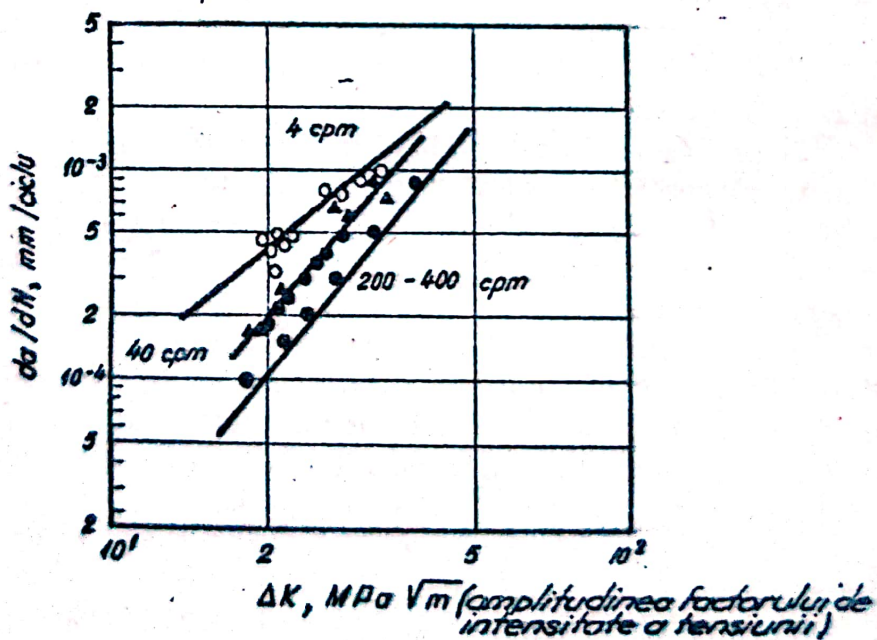


Fig. 4.41. Influența frecvenței de sollicitare asupra vitezei de propagare a fisurii de oboseală la un oțel de tip 10CrMo10, încercat la temperatura de 510°C



figura 4.40 se prezintă curbele de variație a vitezei de propagare a fisurii în funcție de temperatură în cazul unui oțel de tip 10CrMo10 - STAS 8184-80. Figura 4.41 arată influența importantă pe care o are frecvența de solicitare asupra vitezei de propagare a fisurii la același tip de oțel, încercat la oboseală la 510°C.

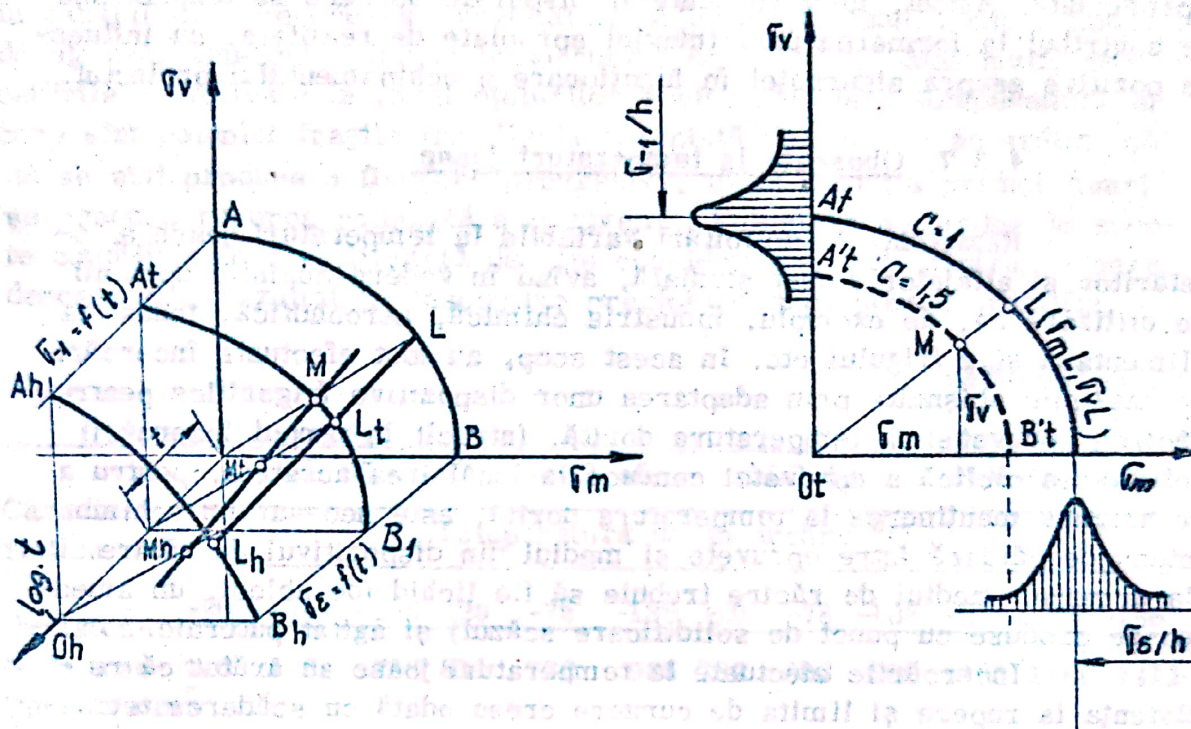


Fig. 4.42. Schema distribuțiilor statistice a caracteristicilor statice și de oboseală la temperaturi ridicate

Este important de reținut că toate aceste caracteristici sînt mărimi statistice a căror distribuție este reprezentată schematic în figura 4.42. Pe aceeași figură se prezintă, pentru un nivel de solicitare dat "M", modul de variație a caracteristicilor limită de rezistență la cald "L", în funcție de timp. Rezultă că:

- practic toate elementele care lucrează în aceste condiții au o probabilitate de rupere, acceptată încă din faza de proiectare;
- probabilitatea de rupere este mai mică în faza inițială de funcționare și crește în timp, coeficientul de siguranță reducîndu-se pînă la valoarea minimă, stabilită pentru durata de serviciu calculată. Deși mărimea acestei probabilități nu este precizată prin normativul de calcul, determinările efectuate au arătat că, în cazul solicitărilor statice, mărimea sa poate atinge cîteva procente.

În încheiere, se apreciază că, în domeniul temperaturilor



de utilizare de 450 - 550°C în cazul oțelurilor feritice, respectiv 500-650°C în cazul oțelurilor austenitice. problema comportării materialelor este deosebit de complexă, cu implicații directe asupra siguranței în serviciu. De aceea, deși normativele de proiectare nu prevăd metodele de calcul, totuși pentru cazurile deosebite se impune o analiză aprofundată. Astfel, folosirea datelor disparate de care se dispune poate contribui la formarea unei imagini apropiate de realitate, cu influențe pozitive asupra siguranței în funcționare a echipamentului proiectat.

#### 4.3.7. Oboseala la temperaturi joase

Rezistența la solicitări variabile la temperaturi joase a oțelurilor și aliajelor a fost studiată, având în vedere anumite domenii de utilizare ca, de exemplu, industria chimică, aeronautică, industria alimentară și a frigului etc. În acest scop, au fost efectuate încercări pe mașinile obișnuite prin adaptarea unor dispozitive frigorifice pentru răcirea epruvetei la temperatura dorită. Intrucât în timpul încercării solicitarea ciclică a epruvetei conduce la încălzirea acesteia, pentru a se asigura menținerea la temperatura dorită, este necesar un schimb intens de căldură între epruvete și mediul din dispozitivul de răcire. Ca urmare, mediul de răcire trebuie să fie lichid (de obicei, un amestec de produse cu punct de solidificare scăzut) și agitat puternic.

Încercările efectuate la temperaturi joase au arătat că rezistența la rupere și limita de curgere cresc odată cu scăderea temperaturii. De asemenea, rezistența la solicitări variabile urmează aceeași tendință, confirmând și pentru temperaturi joase corelația directă care există între caracteristicile statice de rezistență și comportarea la oboseală. De exemplu, în tabelul 4.6 se prezintă rezultatele unor încercări comparative, efectuate la diferite temperaturi.

TABELUL 4.6

| Tipul de oțel       | Rezistența la oboseală, N/mm <sup>2</sup> |        |        | Variația rezistenței la oboseală % |
|---------------------|-------------------------------------------|--------|--------|------------------------------------|
|                     | + 20°C                                    | - 25°C | - 40°C |                                    |
| OL 34               | 195                                       | -      | 270    | + 28                               |
| OL 37               | 225                                       | 264    | -      | + 15                               |
| OL 50               | 245                                       | 284    | -      | + 16                               |
| OLC 60              | 373                                       | -      | 446    | + 17                               |
| Oțel aliat cu 3% Ni | 324                                       | 362    | -      | + 12                               |



Un aspect care trebuie reținut este acela că sensibilitatea la concentratorii de tensiune crește, de asemenea, odată cu rezistența la tracțiune. Ca urmare, la oțelurile de înaltă rezistență, creșterea rezistenței la solicitări variabile la temperaturi joase a epruvetelor cu concentrator este mai lentă decât în cazul epruvetelor netede. Astfel, în tabelul 4.7 se prezintă rezultatele obținute în cazul a patru tipuri de oțeluri, încercate pînă la temperatura de  $-188^{\circ}\text{C}$ . Mai mult, cercetările - efectuate în cazul oțelurilor răcite pînă la o temperatură la care sînt complet fragile (reziliența apropiată de zero) - au arătat că nu se mai produce o fisurare progresivă, ci la apariția primei fisuri se produce ruperea completă a epruvetei. Folosirea oțelurilor în aceste condiții este însă limitată de alte considerente, fapt pentru care, deocamdată, rezultatele respective prezintă numai interes științific.

TABELUL 4.7

|                                             | OL 37                       |        |        | OLC 45 |        |        | OLC 60 |        |        | 30MoCrNi20 |      |      |
|---------------------------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------|------|
| Caracteristica                              | Temperatura de încercare °C |        |        |        |        |        |        |        |        |            |      |      |
|                                             | +20                         | -78    | -188   | +20    | -78    | -188   | +20    | -78    | -188   | +20        | -78  | -198 |
| Rezistența la tracțiune, N/mm <sup>2</sup>  | 416                         | 506    | 788    | 611    | 726    | 936    | 782    | 883    | 980    | 1030       | 1180 | 1411 |
| Reziliența, J/cm <sup>2</sup>               | 266                         | sub 10 | sub 10 | 60,7   | sub 10 | sub 10 | sub 10 | sub 10 | sub 10 | 147        | 112  | 47   |
| Rezistența la oboseală, N/mm <sup>2</sup> : |                             |        |        |        |        |        |        |        |        |            |      |      |
| -epruvetă netedă                            | 186                         | 254    | 568    | 215    | 294    | 627    | 284    | 362    | 676    | 539        | 578  | 764  |
| -epruvetă cu concentrator                   | 127                         | 137    | 166    | 147    | 156    | 196    | 176    | 185    | 216    | -          | -    | -    |

Concluzia care se desprinde este că, din punct de vedere al necesităților practice rezultatele încercărilor efectuate la temperatura mediului ambiant sînt acoperitoare și pentru domeniul temperaturilor joase. Studiul oțelurilor în condiții de solicitări variabile la aceste temperaturi se poate efectua, de asemenea, și la temperatura ambiantă, după aplicarea unor tratamente termice de simulare adecvate. Din acest motiv, încercările la oboseală la temperaturi joase nu au căpătat,



deocamdată, ampliare.

#### 4.4. Acțiunea chimică a mediului

Multe organe de mașini funcționează în diferite medii corosive: apă dulce, apă de mare, atmosferă umedă sau cu conținut de gaze chimice active. În aceste împrejurări ele sînt supuse coroziunii, ceea ce are ca efect distrugerea treptată a straturilor superficiale. Oboseala în mediu corosiv este - de multe ori - cauza distrugerii arborilor de pompe, a turbinelor, conductelor, precum și a altor elemente componente ale unor mașini importante.

S-a stabilit că rezistența la oboseală a matalor este maximă în vid, unde este exclusă posibilitatea corodării. Cu toate acestea, drept criteriu de comparație servește rezistența la oboseală, stabilită în condiții de laborator (aer uscat), diferențele fiind neînsemnate.

Sub acțiunea îndelungată a coroziunii, piesele metalice se pot distruge chiar la solicitări foarte mici. Acțiunea simultană a mediului corosiv și a solicitărilor variabile este mult mai defavorabilă decît suma acțiunilor coroziunii și a solicitării variabile, în cazul cînd acestea ar acționa succesiv.

Acest lucru l-a pus în evidență Mac Adam cu ajutorul unui oțel crom-vanadiu, avînd rezistența de rupere la tracțiune  $1\,050\text{ N/mm}^2$  (Fig. 4.43).

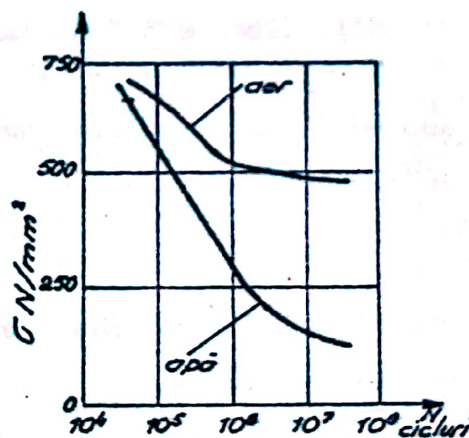


Fig. 4.43. Acțiunea coroziunii apei asupra rezistenței la oboseală a unui oțel crom-vanadiu

Acționarea concomitentă a celor doi factori, coroziunea și solicitarea alternantă, face ca oxizii formați să nu poată fi reținuți pe suprafața pieselor - ca în cazul solicitărilor statice, unde aceștia micșorează viteza de corodare și au un rol protector, creîndu-se condiții pentru intensificarea procesului de distrugere. Pe suprafețele corodate,



cu ciupituri, apare o rețea de fisuri microscopice, care acționează ca niște concentratori de tensiune cu valori maxime la baza microfisurilor. Din această fază, începe să predomină fenomenul de oboseală. Încercări speciale prin metodele mecanicii ruperii au evidențiat că efectul corosiv al mediului determină nu numai o amorțare mai rapidă a fisurilor, ci și o viteză de propagare mult mai mare. În acest fel, durata de viață a piesei este puternic afectată, fapt evidențiat, de altfel, și de diagrama din figura 4.43.

Cu cât acțiunea de corodare este de mai lungă durată, cu atât rezistența la oboseală a pieselor metalice este mai mică. Cu alte cuvinte, ramura inferioară a curbei Wöhler nu mai tinde către o asimptotă orizontală, ci este înclinată. Prin urmare, în condiții de mediu corosiv nu există o rezistență la oboseală propriu-zisă (fizică), ci numai una convențională, dependentă de numărul de cicluri pînă la care se continuă încercarea.

Influența mediului corosiv asupra rezistenței la oboseală a citorva mărci de oțel se poate vedea din tabelul 4.8.

În medii corosive, rezistența la oboseală a oțelurilor carbon nu mai depinde de conținutul de carbon. De aceea, rezistența de rupere la tracțiune nu mai poate fi o măsură a determinării rezistenței la oboseală, dispărînd și diferența între rezistența la oboseală în stare îmbunătățită și nominalizată. După cum reiese și din datele prezentate în tabelul 4.8, oțelurile slab aliate prezintă rezistențe la oboseală mai mari decît oțelurile carbon. Cea mai mare rezistență la oboseală în mediu corosiv o prezintă oțelurile inoxidabile. Apa sărată este un mediu extrem de agresiv; ea reduce rezistența la oboseală a metalelor de 2-5 ori.

Dintre diferitele solicitări, cea mai defavorabilă este solicitarea la întindere ciclică. În acest caz, tensiunile nu variază în secțiune, iar stratul superficial se distruge mereu. În cazul compresiunii, nu se produce o îndepărtare a stratului exterior, motiv pentru care efectul coroziunii este mult micșorat. O situație asemănătoare prezintă și piesele cu creștături.

Studiul și elaborarea metodelor de protejare a metalelor contra distrugerilor provocate de oboseală în mediu corosiv sînt de mare actualitate.

Condițiile care se cer unui strat protector sînt:

- să adere la metalul de bază;
- să nu provoace micșorarea rezistenței la oboseală;
- să nu fie fragil;
- să asigure o protecție durabilă (cea mai avantajoasă, din acest punct de vedere, este acoperirea electrolitică).



TABELUL 4.8

| Materialul                                      | Rezistența la oboseală $\sigma - 1$<br>$N/mm^2$ , în baza $5 \cdot 10^7$ cicluri |                 |                  |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|
|                                                 | în aer                                                                           | în apă<br>dulce | în apă<br>sărată |
| Oțel carbon (OL 37)                             | 250                                                                              | 140             | 65               |
| Oțel carbon (OL 42)                             | 165                                                                              | 120             | -                |
| Oțel carbon (OSC 10)                            | 280                                                                              | 150             | -                |
| Oțel crom-vanadiu 50VCr 11                      | 465                                                                              | 130             | -                |
| Oțel crom-nichel (0,28% C, 5%Ni,<br>0,73%Cr)    | 470                                                                              | 115             | 95               |
| Oțel inoxidabil 10Cr130                         | 380                                                                              | 260             | 210              |
| Oțel inoxidabil 40Cr130                         | 360                                                                              | 250             | 250              |
| Oțel nichel-siliciu (0,5%C, 3,1%Ni, 1,6%Si) 770 | 770                                                                              | 120             | -                |

Acoperirile de protecție contra coroziunii sînt:

- nichelarea (electrolitică);
- cromarea (electrolitică);
- zincarea (electrolitică, prin scufundare sau prin difuzare);
- aluminizarea (eventual cu emailare ulterioară);
- cadmierea (eventual cu emailare ulterioară);
- fosfatarea;
- emailarea.

Primele două procedee (nichelarea și cromarea) se utilizează numai în cazul în care piesele lucrează în medii corosive. În caz contrar, ele se vor evita deoarece așa cum s-a arătat-determină micșorarea rezistenței la oboseală cu 10-35%.

Influența celorlalte procedee de protejare a oțelurilor asupra comportării în mediu corosiv este pusă în evidență de rezultatele prezentate în tabelul 4.9. Datele din tabelul 4.9 se referă la OLC 50 în două stări: tras la rece și normalizat; diametrul epruvetelor a fost de 7 mm. Mediul corosiv s-a creat prin pulverizarea directă a unei soluții de 3% NaCl, într-o cameră specială. Pentru acest mediu, cea mai eficace protecție se realizează prin zincare și metalizare cu aluminiu. Metalizarea nu dă rezultate bune dacă se aplică pe suprafețe netede rectificate, deoarece nu se asigură o aderență suficientă între stratul protector și metalul de bază.

Printre procedeele care se aplică cu succes în cazul pieselor supuse coroziunii, se numără și tratamentele mecanice și termo -



TABELUL 4.9

| Felul acoperirii                                      | Grosimea stratului protector mm | Oțel tras la rece             |     |                                                             |                                                        | Oțel nenominalizat            |     |                                                             |                                                        |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                                       |                                 | Rezistența la oboseală în aer |     | Rezistența la oboseală într-o soluție pulverizată cu 3%NaCl |                                                        | Rezistența la oboseală în aer |     | Rezistența la oboseală într-o soluție pulverizată cu 3%NaCl |                                                        |
|                                                       |                                 | la $10^7$ cicluri             | %   | la $2 \cdot 10^7$ cicluri                                   | % față de rezistența la oboseală a oțelului neprotejat | la $10^7$ cicluri             | %   | la $2 \cdot 10^7$ cicluri                                   | % față de rezistența la oboseală a oțelului neprotejat |
|                                                       |                                 | N/mm <sup>2</sup>             |     | N/mm <sup>2</sup>                                           |                                                        | N/mm <sup>2</sup>             |     | N/mm <sup>2</sup>                                           |                                                        |
| Neacoperită                                           | -                               | 386                           | 100 | 55                                                          | 14                                                     | 258                           | 100 | 63                                                          | 24                                                     |
| Zincare la cald (galvanizare)                         | 0,048                           | 389                           | 101 | 365                                                         | 95                                                     | 233                           | 90  | 261                                                         | 101                                                    |
| Zincare prin difuziune                                | 0,013                           | 359                           | 93  | 386                                                         | 100                                                    | 233                           | 90  | 239                                                         | 93                                                     |
| Zincare electrolitică                                 | 0,014                           | 384                           | 100 | 337                                                         | 87                                                     | 253                           | 98  | 231                                                         | 90                                                     |
| Metalizare cu aluminiu                                | 0,051                           | 406                           | 105 | 307                                                         | 80                                                     | -                             | -   | -                                                           | -                                                      |
| Metalizare cu aluminiu și acoperire cu vopsea email   | 0,051                           | 397                           | 103 | 387                                                         | 98                                                     | -                             | -   | -                                                           | -                                                      |
| Cadmieră electrolitică                                | 0,013                           | 359                           | 93  | 298                                                         | 77                                                     | 239                           | 93  | 216                                                         | 84                                                     |
| Cadmieră electrolitică și acoperire cu vopsea email   | 0,013                           | 365                           | 95  | 279                                                         | 72                                                     | 249                           | 96  | 212                                                         | 82                                                     |
| Cadmieră electrolitică și imbibare cu ulei de în fier | 0,013                           | 343                           | 89  | 236                                                         | 61                                                     | 249                           | 95  | 211                                                         | 82                                                     |
| Fosfatare și acoperire cu vopsea email                | -                               | 359                           | 93  | 168                                                         | 44                                                     | 280                           | 108 | 203                                                         | 79                                                     |
| Acoperire cu vopsea email imbibată cu lac de ulei     | -                               | 359                           | 93  | 170                                                         | 44                                                     | 271                           | 105 | 176                                                         | 68                                                     |



chimice, cum sînt rularea cu role, cementarea, nitrurarea, cianurarea etc. sau o combinație între una dintre acestea și zincarea urmată de cromare.

Viteza procesului de coroziune poate să fie mult redusă în mediu alcalin prin folosirea unor substanțe chimice pasivizante, cum sînt cromații și bicromații ( $K_2CrO_4$ ;  $Na_2Cr_2O_7$  etc.) Aceste substanțe reduc efectul coroziunii, chiar dacă piesele lucrează în soluții de clorură de sodiu.

În medii acide, însă, aceste substanțe nu sînt recomandabile, întrucît produc un efect contrar, favorizînd și chiar accelerînd coroziunea. În aceste cazuri, protecția se realizează cu ajutorul unor coloizi organici, cum sînt: gelatina, dextrina, diferiți alcaioizi etc.

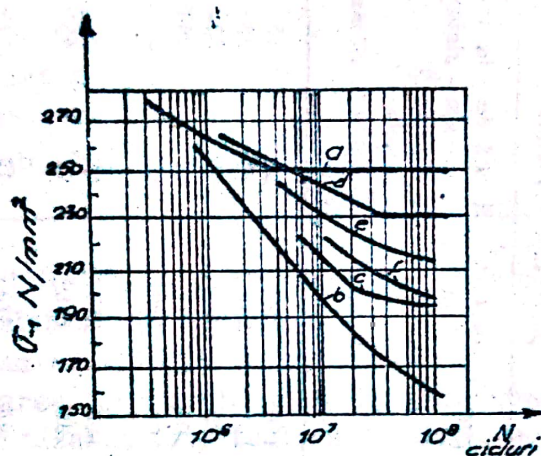


Fig. 4.44. Efectul de protecție anticorrosiv al unor substanțe pasivizante asupra rezistenței la oboseală a unui oțel de tip OLC 35. Incercare în: a-aer; b-apă; c-apă + 0,3g/l  $K_2CrO_4$ ; d-apă + 0,3g/l  $CrO_3$ ; e-apă + 0,5 g/l  $CrO_3$ ; f- apă + 0,5% ulei de protecție.

În diagrama din figura 4.44 se poate vedea efectul de protecție a diverselor substanțe asupra unui oțel OLC 35, avînd rezistența de rupere la tracțiune  $500 \text{ N/mm}^2$ , supus coroziunii în apă.

În condițiile coroziunii, un rol deosebit revine frecvenței de variație a solicitării. Folosirea frecvențelor mari duce la mărirea rezistenței la oboseală. Acest lucru se explică prin faptul că atingerea unui număr oarecare de cicluri durează mai puțin în cazul frecvențelor mari, deci timpul de coroziune este mai redus. Curbele din figura 4.45, obținute pe un oțel Si-Ni îmbunătățit, cu rezistența de  $1760 \text{ N/mm}^2$  confirmă cele expuse.



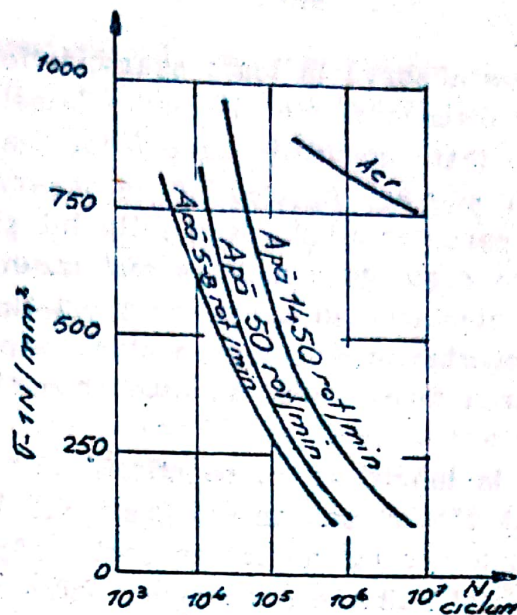


Fig. 4. 45. Influența frecvenței de solicitare la oboseală asupra rezistenței la oboseală a unui oțel allat Ni-Si îmbunătățit

#### 4. 5. Coroziunea de contact

Este un fapt cunoscut că dacă două piese sînt asamblate forțat și ansamblul astfel constituit suportă eforturi variabile pe suprafețele în contact ale pieselor se produce un fenomen de oxidare, datorat frecării lor prelungite. Acest fenomen se numește coroziune de contact, coroziune prin frecare sau coroziune de fretaj. El se traduce prin formarea unor produși de oxidare, în cazul oțelurilor - oxid roșu de fier,  $Fe_2O_3$ . Deteriorarea suprafeței poate amorsa fisuri de oboseală și conduce la rupere. Această deteriorare crește cu presiunea și cu finisarea suprafețelor.

Dacă piesa este din oțel nitrurat sau cementat se observă că ruptura se amorsează la suprafață, în timp ce fără frecare casura pornește întotdeauna de sub stratul durificat.

Coroziunea de contact face să intervină simultan fenomene de coroziune și o deteriorare a suprafețelor prin uzură. Aceste fenomene de coroziune înglobează toate procesele posibile, dintre care oxidarea prin frecare este forma cea mai frecventă și cea mai importantă, întâlnită în practică.

Această fisurare este înlesnită de către concentrările de tensiune, care se produc în încăstrare, datorită strîngerii și schimbării de secțiune.



Fenomenul se observă la toate asamblările forțate: arbori cu caneluri, împănări, manșonări etc. Arcurile lamelare, polisate, prezintă în mod deosebit - toate condițiile care favorizează apariția coroziunii de contact și, într-adevăr, în practică se observă între foile arcului o pulbere roșie, caracteristică, dacă foile lui sînt uscate sau o suspensie tot de culoare roșie dacă acestea sînt unse.

Cercetările efectuate au arătat că acest tip de coroziune este mai puțin accentuat cînd presiunea de contact este mai redusă, dar s-a dovedit că diminuarea fenomenului nu este proporțională cu micșorarea presiunii.

Recurgerea la lubrifiere nu constituie un remediu eficace, chiar dacă se utilizează uleiuri sau unsori grafitate. În schimb, s-au obținut rezultate mulțumitoare cu uleiuri ce conțin săpun de aluminiu, ca urmare a formării unei pelicule permanente între suprafețele în contact, peliculă ce evită apariția coroziunii prin frecare. Oxidarea - ce însoțește fenomenele de frecare-se explică prin dezvoltarea unor temperaturi ridicate în punctele de contact ale suprafețelor metalice, care alunecă una pe alta; drept urmare, particule metalice foarte fine sînt smulse, ating temperaturi foarte ridicate și se oxidează.

O altă teorie a mecanismului coroziunii de contact, total diferită de precedentă, a fost propusă de Ivanova și Oding. Aceștia au observat în prezența coroziunii de contact, în timpul unor încercări prelungite pînă la  $25 \cdot 10^7$  cicluri, o scădere continuă a rezistenței la oboseală atît în aer, cît și în hidrogen. Această diminuare a rezistenței la oboseală s-ar explica, după cercetătorii citați, printr-un fenomen de electroeroziune, care se produce sub acțiunea unui curent termoelectric ce ia naștere prin frecare și a cărui intensitate variază în funcție de rezistența de contact.

Inversînd sensul curentului termoelectric, printr-o alegere potrivită a materialelor în contact sau prin trecerea unui curent cîș, se poate încetini sau chiar opri fenomenul de electroeroziune și, drept consecință, ameliora rezistența la oboseală.

O formă de coroziune de contact apare întotdeauna cînd două suprafețe metalice, prevăzute prin construcție să se deplaseze una pe alta, se găsesc imobilizate - din diferite cauze - dar rămîn supuse unei sarcini statice și unor vibrații. Sub efectul simultan al vibrațiilor și al presiunilor foarte mari, care se exercită cînd rulmenții se încarcă în repaos, în punctele de contact ale bilelor, sau roletelor se produc coroziune de contact specifică, care prezintă aspectul unor cratere vag asemănătoare amprentelor pe care le lasă bila Brinell. Aceste alterări ale căilor de rulare pot determina scoaterea rulmenților din uz înainte de a fi folosiți sau pot provoca fisuri de oboseală.



Chambaud citează, ca exemplu tipic al acestui gen de coroziune, deteriorarea căilor de rulare a rulmenților cu bile de la fuzetele unor automobile transportate, pe calea ferată, la distanțe lungi. Căile de rulare apăreau marcate de amprente ale bilelor, în timp ce suprafața bilelor era deteriorată. Pentru a remedia aceste grave accidente care determinau scoaterea din uz a fuzetelor înainte de a fi fost utilizate, a fost suficient să se suprima sarcina de pe roțile automobilelor în timpul transportului lor.

Mijloacele prin care pot fi atenuate efectele coroziunii de contact au fost astfel formulate de către Albert:

- lubrifiere cu unsori grafitate, care s-au dovedit eficace în unele cazuri, dar total ineficace în altele;
- lubrifianți fluizi care, eliminând aerul dintre suprafețele în contact, întârzie oxidarea lor; și în acest caz, însă, oxigenul dizolvându-se, în timp, în ulei sfârșește prin a altera metalul, ceea ce împune folosirea de uleiuri neoxidabile;
- acoperirile electrolitice cu metale moi (plumb, aliaje Pb-Sn, argint).

Bisulfura de molibden a dat rezultate foarte interesante, dar este necesar ca ea să fie într-o stare determinată de finețe și foarte pură. Rezultate excelente au fost obținute, amestecând-o cu o unsoră grafitată.

Un alt tratament favorabil îl constituie sulfinizarea, realizată prin imersarea suprafețelor în contact într-o baie formată dintr-un amestec de săruri topite (cianuri, carbonați și sulfizi), la temperatura de  $580^{\circ}\text{C}$ , care produce o acoperire complexă de nitruri și sulfuri de fier.

Nitrurarea suprafețelor constituie un mijloc foarte eficace. Datele din tabelul 4.10 susțin grăitor această afirmație.

TABELUL 4.10

| Natura epruvetelor                                                 |                 | Rezistența la oboseală |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|
| Oțelul: 0,3C; 2Cr; 2Ni; 0,3Mo, tratat la $R = 1079 \text{ N/mm}^2$ |                 |                        |
| Natura strângerii                                                  |                 | $\text{N/mm}^2$        |
| Nenitrurat                                                         | fără bacuri     | 598                    |
| Nitrurat                                                           | "               | 706                    |
| Nenitrurat                                                         | bacuri din oțel | 255                    |
|                                                                    | Cr-Mo-V         |                        |
| Nitrurat                                                           | "               | 540                    |

Depunerile electrolitice de cupru, staniu, argint, cadmiu sau nichel dau rezultate interesante. Altcarea întârzie sensibil apariția coroziunii de contact. În aceeași ordine de idei, cromarea dură întârzie apariția acestui fenomen la oțeluri.



## CAPITOLUL 5

### PROPRIETATILE DE INTREBUINTARE SI TEHNOLOGICE ALE OTELURILOR PENTRU CONSTRUCTII MECANICE

Alegerea unui oțel de construcții mecanice, pentru o utilizare dată trebuie să pornească de la analiza atentă a condițiilor de lucru cărora trebuie să le facă față și a posibilităților tehnologice de a-i da forma geometrică cerută de funcționalitatea piesei sau elementului ce se proiectează, analiză pe baza căreia se stabilește ansamblul proprietăților de întrebuințare și tehnologice pe care trebuie să le aibă oțelul ales. Pe baza acestor considerente și ținând seama și de celelalte criterii ce intervin (condiții de economicitate, disponibilitate etc.), care vor fi analizate și prezentate - mai în detaliu - în capitolul următor, se selectează marca de oțel ale cărei proprietăți și caracteristici corespund cel mai bine, din punct de vedere tehnic și economic, cerințelor de întrebuințare și tehnologice.

În acest capitol, se prezintă proprietățile de întrebuințare și tehnologice specifice diferitelor familii și mărci de oțeluri pentru construcții mecanice.

#### 5.1. Oțelurile pentru recipiente, cazane și structuri mecano-sudate

În ultimii douăzeci de ani, au dispărut, practic, îmbinările cu șuruburi sau nituri în construcțiile de recipiente, cazane și structuri mecanice, fiind înlocuite de către cele sudate. O evoluție asemănătoare a avut loc și în cazul fermelor și tablierelor metalice rămase, totuși, mult timp bastionul niturilor.

Din această cauză, decurge cu totul natural pentru oțelurile din această familie, necesitatea de a se suda ușor, necesitate care nu se întâlnește, de exemplu, în cazul barelor destinate executării pieselor mecanice. Abordăm, astfel, o problemă spinosă: aceea a bunei sudabilități a unui oțel. Problema depășește cadrul acestui îndrumar, cu atât mai mult cu cât există numeroase studii și publicații despre acest subiect, dar reamintirea câtorva din liniile directoare ale problemei sudabilității este absolut necesară pentru a evita orice eroare posibilă.

A suda două table presupune a le topi marginile, cu sau fără



metal de adaos, într-o manieră care să asigure după solidificare obținerea unei singure piese, perfect omogene. Baia de topire se găsește la peste  $1700^{\circ}\text{C}$ , în timp ce restul tablelor se află, cel mai adesea, la temperatura ambiantă; se înțelege, deci, că răcirea foarte rapidă supune marginile tablei și cordonul de sudură la o probă foarte dură.

Cele mai grave pericole, care însoțesc sudarea, sînt următoarele trei:

- oxidarea posibilă a băii și a marginilor calde ale tablei;
- tensiunile interne ce se dezvoltă datorită contracției (care are loc), produsă în cursul răcirii foarte rapide;
- fragilitatea rezultată ca efect al unei căliri prea energice, datorită - de asemenea - unei răcirii foarte rapide.

Majoritatea problemelor, pe care le ridică sudura din punct de vedere constructiv, al alegerii materialului de bază și al celui de adaos, precum și de ordin tehnologic, sînt strîns legate de combaterea acestor trei pericole.

Oxidarea se evită prin izolarea băii de topire cu ajutorul a ceea ce se numește flux, înveliș al electrozilor, pulbere și gaz protector. Precauțiile, în acest caz, țin, deci, de natura materialelor folosite la sudare.

Tensiunile interne pot fi sensibil diminuate, dacă rîi eliminate, printr-una din următoarele soluții:

- utilizînd oțeluri (material de bază) cu alungire foarte mare;
- utilizînd un metal de adaos foarte ductil;
- recurgînd, înainte de sudare, la o preîncălzire a pieselor de îmbinat;

- aplicînd, după sudare, o recoacere de detensionare.

Fragilitatea, la rîndul ei, este mult atenuată și, uneori, total evitată prin:

- utilizarea unor oțeluri puse la punct în acest scop (cum sînt, de exemplu, oțelurile din grupa OCS);
- alegerea corespunzătoare a materialului de adaos;
- aplicarea unei preîncălziri;
- efectuarea unei recoaceri de detensionare.

Din cele prezentate, rezultă că, printr-un ansamblu de precauții adecvate, toate oțelurile pot fi practic sudate, dar se poate afirma că un oțel este cu atît mai sudabil cu cît necesită mai puține precauții pentru a obține o sudură de calitate bună.

Avînd în vedere că precauțiile sînt costisitoare, un oțel destinat realizării de recipienți, cazane sau structuri mecano-sudate, care



comportă: suduri numeroase, este cu mult mai scump prin preauțiile necesare la sudare, decât prin prețul său de achiziționare.

În funcție de natura structurii mecano-sudate care trebuie concepută, alegerea oțelului ce urmează a fi utilizat va avea, deci, o importanță extremă. Recipientele, cazanele și structurile mecano-sudate sînt mult mai mult supuse vibrațiilor decât piesele mecanice. După un anumit timp, ce variază în funcție de marca oțelului și tipul piesei, unele oțeluri devin casante, datorită vibrațiilor frecvente și numeroase la care sînt supuse. Se spune că ele au îmbătrînit și este ușor de imaginat pericolul pe care-l antrenează acest fenomen.

Oțelurile cu conținut de carbon mai mic de 0,20%, pure din punct de vedere al elementelor nocive (ca fosfor, sulf, staniu, oxigen), practic nu îmbătrînesc și oferă, astfel, o mare siguranță în utilizare. La rîndul lor, elementele de aliere pot avea, de asemenea, o influență pozitivă asupra îmbătrînirii oțelurilor. Nichelul, cromul, molibdeul, vanadiul, în cantități mici, combat îmbătrînirea.

Dacă execuția pleselor mecanice face apel, în cea mai mare măsură, la prelucrările prin îndepărtare de așchii, aceste operații tehnologice sînt puțin folosite în cazangerie și în mecano-sudură. Cazangeria, mai ales, recurge înainte de toate la operațiile de prelucrare prin deformarea metalului la cald sau la rece prin rulare, îndoire sau fîlțuire și chiar ambutisare.

Cu cît tablele sînt mai groase cu atît aceste operații sînt mai delicate și aceasta din următoarele două cauze principale:

- rezistența la îndoire a tablei și efectul de arc sînt cu atît mai importante cu cît caracteristicile de bază ale oțelului sînt mai ridicate;

- inițierea de fisuri la suprafața tablei în timpul operației de deformare, fisuri ce pot să meargă pînă la rupere.

Dificultatea generată de nivelul ridicat al rezistenței la îndoire se depășește folosind mașini puternice sau operînd la cald, dar în acest caz lucrul devine mai obositor și trebuie vegheat ca temperatura ansamblului să rămînă omogenă.

În ceea ce privește fisurile, ele depind de capacitatea de alungire a metalului (fig. 5.1) și de razele de curbura alese. În general, riscul este mai mic cînd prelucrarea se execută la cald, cu excepția cazului în care oțelul conține impurități, ca, de exemplu, staniu sau aluminiu. Operația de ambutisare, exceptînd grosimile mici, nu este practic posibilă decât la cald.

Concluzionînd, se poate spune că un oțel, cu cît este mai ușor prelucrabil, este mai scump, întrucît aptitudinea oțelului de a se prelucra ușor depinde, în cea mai mare măsură, de calitatea sa, care



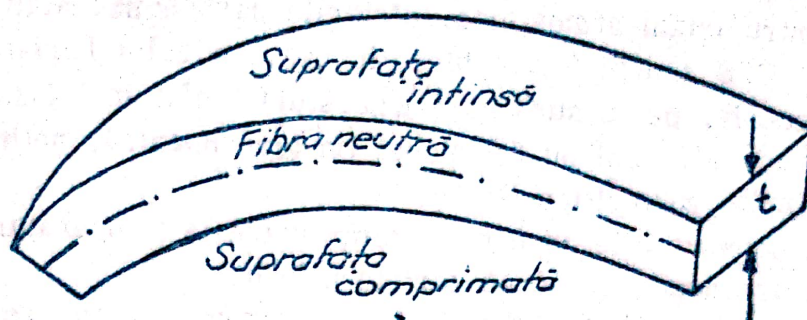


Fig. 5.1. Indoirea unei table

este în strînsă corelare cu prețul de achiziționare al fiecărei mărci de oțel.

Deoarece fibra neutră își păstrează, teoretic, lungimea inițială, rezultă că fața internă a unui recipient sau aparat sub presiune este comprimată, ceea ce în general nu prezintă prea multe inconveniente, și că suprafața sa externă este alungită (tensionată). Această alungire nu trebuie să depășească posibilitățile oțelului pentru că, în caz contrar, se produc fisuri sau chiar ruperea brutală a recipientului.

Sudura permite obținerea unui ansamblu omogen, iar proiectantul are interesul, pentru a ușura aparatele pe care le concepe, să utilizeze oțeluri cu caracteristici cât mai ridicate. El este, totuși, limitat de fragilitate, sudabilitate și aptitudine de prelucrare, ceea ce face ca alegerea mărcii de oțel să fie consecința celui mai bun compromis între mai multe necesități, mai mult chiar decît în cazul pieselor mecanice.

Cerințele pe care le-am trecut în revistă sînt valabile pentru cvasitotalitatea construcțiilor de importanță.

La acestea pot să se adauge și alte cerințe speciale, indispensabile în cazul anumitor tipuri de construcții.

Siguranța ridicată în exploatare este o cerință fundamentală pentru toți recipientii care conțin fluide (gaze sau vapori) la presiuni ridicate. În aceste situații, este necesară o absență totală a fragilității, iar aparatele sînt supuse, după caz, regimului de supraveghere ISCIR sau altor organisme specializate. În majoritatea cazurilor, oțelurile folosite sînt mărci clasice, elaborate însă cu mai multă grijă (oțelurile din grupa R și K).

Cerința esențială a construcțiilor cu comportare bună la rece este absența fragilității în condiții de:

- frig atmosferic de ordinul a  $-50^{\circ}\text{C}$  sau



- frig industrial sub acest prag de  $-50^{\circ}\text{C}$  temperatură.

Pentru frigul atmosferic, oțelurile carbon sau slab aliate din grupa R și OCS convin foarte bine; în cazul frigului industrial se utilizează, succesiv, pe măsură ce temperaturile sînt mai joase, oțelurile cu 3,5% nichel, apoi cu 6% nichel (în țara noastră, netipizat) și, în sfîrșit, oțelurile austenitice Cr-Ni.

La construcțiile cu o bună comportare la temperaturi ridicate sînt necesare, după caz, două cerințe diferite:

- păstrarea caracteristicilor de rezistență la rupere și o limită de curgere convenabilă la temperaturi relativ ridicate, care pot să dureze mai multe zeci de ore, consecutiv;
- să reziste corespunzător la fluaj, cînd temperaturile ridicate se mențin mai multe mii de ore, consecutiv.

După caz și temperaturi, oțelurile utilizate - în acest domeniu - sînt oțeluri clasice carbon, dar cu o elaborare deosebită (grupa K) sau oțeluri aliate cu Mo sau Cr-Mo. Dacă fenomenele descrise mai sus sînt însoțite și de o coroziune, datorită gazelor calde, trebuie utilizate oțeluri refractare.<sup>1)</sup>

Abraziunea este un fenomen apropiat și totuși diferit de uzură; el a fost mult timp combătut cu mijloace empirice fiind sistematic studiat abia în ultimii ani. Abraziunea se produce ca efect al trecerii unor materiale foarte diferite ca nisip, cărbuni, var, materiale de carieră, ciment (clîncher) etc. prin jgheaburi, pîlnii și silozuri de descărcare și este însoțită deseori de temperatură și coroziune prin umiditate. În capitolul următor se va vedea că, în prezent, ne stau la dispoziție soluții multiple, dar că alegerea este foarte delicată.

#### 5.1.1. Oțelurile pentru structuri mecano-sudate

Oțelurile grupate în cadrul acestei familii au un domeniu foarte larg de utilizare. Ele sînt întrebuințate la confecționarea tuturor elementelor componente ale structurilor executate prin sudură. În tabelul 5.1 sînt redate principalele domenii de utilizare și formele de livrare a oțelurilor pentru structuri mecano-sudate, așa cum sînt ele precizate în Decretul nr. 99 al Consiliului de Stat referitor la tipizarea mărcilor și produselor din oțel.

<sup>1)</sup> Vezi G. Constantinescu - Oțeluri inoxidabile și refractare, Oficiul de informare documentară pentru aprovizionarea tehnico-materială și controlul gospodăririi fondurilor fixe, București, 1982.



| Marca de<br>oțel | Principalele domenii de utilizare | Formele de livrare |
|------------------|-----------------------------------|--------------------|
|------------------|-----------------------------------|--------------------|

a. Oțeluri clasice carbon și slab aliate

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                           |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OL 37 | Elemente portante de structuri metalice sudate sau îmbinate prin alte procedee ca ferme, poduri de șosea și cale ferată, rezervoare, stâlpi, elemente de structuri portante de mașini și utilaje, batiuri sudate, organe de mașini supuse la tensiuni moderate, lanțuri de tracțiune, sârme și plase sudate pentru beton armat, flanșe | Produse plate<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Profile formate la rece<br>Oțel calibrat<br>Sârme laminate și trase<br>Produse tubulare<br>Produse din sîrmă |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|       |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                       |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OL 44 | Elemente portante pentru structuri metalice sudate sau îmbinate prin alte procedee, supuse unor solicitări mecanice ridicate și care trebuie să prezinte o suficientă garanție față de ruperea fragilă | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Profile formate la rece<br>Oțel calibrat<br>Sârme laminate și trase<br>Produse tubulare |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|       |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                       |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OL 52 | Elemente portante pentru structuri metalice sudate sau îmbinate prin alte procedee, puternic solicitate, ca: stâlpi pentru linii electrice aeriene, căi de rulare, macarale, șasiuri de autovehicule, rezervoare de mare capacitate, benturi de tracțiune | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Profile formate la rece<br>Oțel calibrat<br>Sârme laminate și trase<br>Produse tubulare |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



TABELUL 5.1 (continuare)

| Marca de oțel                                                                        | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                                                                                                                  | Formele de livrare                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>b. Oțeluri rezistențe la coroziune atmosferică</b>                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                       |
| RCA 37                                                                               | Elemente de structuri metalice cu rezistență mărită la coroziune atmosferică, ca: stâlpi electrici de înaltă tensiune, vagoane, macarale, structuri portante și elemente de închidere a halelor industriale                                                                                        | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Profile formate la rece |
| RCB 52                                                                               | Elemente de structuri metalice puternic solicitate, cu rezistență mare la coroziune atmosferică, ca: boghiuri, macarale de mare capacitate care lucrează în aer liber, stâlpi de înaltă tensiune, recipiente sub presiune, poduri, ferme, elemente de structură și închidere a halelor industriale | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Profile formate la rece |
| <b>c. Oțeluri cu limită de curgere ridicată și foarte ridicată (granulație fină)</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                       |
| OCS 44                                                                               | Elemente portante de structuri metalice sudate sau îmbinate prin alte procedee, supuse unor solicitări mecanice relativ ridicate și care trebuie să prezinte rezistență mare la rupere fragilă                                                                                                     | Produse plate laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare                        |
| OCS 52                                                                               | Elemente portante de structuri metalice sudate sau îmbinate prin alte procedee, puternic solicitate și cu rezistență mare la rupere fragilă                                                                                                                                                        | Produse plate laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Produse tubulare    |



TABELUL 5.1 (continuare)

| Marca de oțel                                                                      | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Formele de livrare                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| OCS 55                                                                             | Elemente portante de structuri metalice puternic solicitate și cu rezistență mare la rupere fragilă, cum sînt: căi de rulare la macarale grele, poduri rulante pentru siderurgie, ferme și stîlpi pentru hale cu deschidere mare                                                                                                                                                   | Produse plate laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Produse tubulare |
| OCS 58                                                                             | Elemente portante de structuri metalice puternic solicitate și cu rezistență mare la rupere fragilă, ca: structuri portante pentru mașini de ridicat și transportat, șasiuri pentru mijloace de transport, stîlpi și ferme de hale industriale cu deschideri și sarcini mari, vagoane cisterne de cale ferată                                                                      | Produse plate laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Produse tubulare |
| OCS 90                                                                             | Elemente pentru structuri metalice și mecanice foarte puternic solicitate, dimensionate pentru a valorifica limita de curgere foarte ridicată a oțelului, ca: structuri portante pentru mașini de ridicat și transportat, automacarale, șasiuri pentru mijloace de transport, stîlpi și ferme de hale industriale cu deschideri și sarcini mari, recipiente cu pereți foarte groși | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Produse tubulare     |
| <u>d. Oțeluri cu limită de curgere ridicată, prelucrabile prin îndoire la rece</u> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                    |
| L 42                                                                               | Longeroane de autovehicule grele (camioane, basculante, autobuze, troleibuze) și alte elemente de structuri portante pentru mașini și utilaje, realizate prin deformare la rece                                                                                                                                                                                                    | Produse plate laminate la cald<br>Profile formate la rece                          |



TABELUL 5.1 (continuare)

| Marca de oțel                         | Principalele domenii de utilizare                              | Formele de livrare             |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>e. Oțeluri rezistente la uzură</b> |                                                                |                                |
| 20 Mn 10                              | Elemente de structuri portante la tractoare și mașini agricole | Produse plate laminate la cald |

#### 5.1.1.1. Oțeluri clasice, carbon și slab aliate

Mărcile de oțeluri clasice, carbon și slab aliate, pentru construcții mecano-sudate sînt grupate în standardul de stat 500/2; aceste oțeluri permit realizarea unor construcții ce oferă o mare siguranță în exploatare, fără riscul unor interpretări greșite, deoarece caracteristicile garantate prin documentul normativ de standardizare se referă la produsul livrat și nu la o epruvetă convențională de caracterizare. Caracteristicile mecanice și tehnologice ale celor trei mărci de oțel din această grupă sînt rediate în tabelul 5.2, iar clasele lor de calitate și garanțiile corespunzătoare de calitate în tabelul 5.3. Se remarcă faptul că sensul de preluare al epruvetelor de reziliență este cel longitudinal, adică paralel direcției de laminare. Aceasta poate surprinde, dat fiind practica devenită tradițională a preluării transversale a epruvetelor de reziliență. Ea are totuși o explicație logică, după cum se va vedea.

Intr-adevăr, cercetările efectuate de către NBS<sup>1)</sup>, primul institut de specialitate care a studiat temperatura de tranziție, au arătat că această proprietate intrinsecă a oțelului poate fi estimată independent de direcția de preluare, curbele energie-temperatură avînd porțiunea căzătoare în aceeași zonă de temperatură. Dar, în funcție de lățimea produsului, partea semnificativă a zonei de tranziție se reperează printr-un nivel mai ridicat, deci mai ușor de măsurat, cînd epruveta este preluată în direcție longitudinală, decît atunci cînd preluarea se face în sensul transversal (fig. 5.2). De unde atunci practica preluării transversale? Ea constituie o relicvă a prescripțiilor anterioare din documentele normative de standardizare, care prevedeau determinarea rezilienței în zona comportării tenace (partea superioară a curbei), iar adoptarea direcției transversale de preluare asigură o rezervă de tenacitate.

<sup>1)</sup> National Bureau of Standards din S. U. A.



TABELUL 5.2

| Produse cu grosimea sau diametrul a, mm |                                                                                                                        |                  |                   |                                                                                               |                                                                                        |                                                           |                                                                                         |                                                                                      |             |                      |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------|
| Marca<br>oțelului                       | $a \leq 16$                                                                                                            | $16 < a \leq 40$ | $40 < a \leq 100$ | $a \leq 100$                                                                                  | -                                                                                      | $a \leq 16$                                               | $a > 16$                                                                                | $a \leq 16$                                                                          | $a > 16$    | Clasa de<br>calitate |
|                                         | Limita de curgere <sup>1)</sup><br>$R_{eH_2}$ (R <sub>po,2</sub> )<br>N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )<br>min. |                  |                   | Rezistența la<br>tracțiune <sup>2)</sup><br>$R_m$ N/mm <sup>2</sup><br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | Alungirea <sup>3)</sup><br>la rupere<br>A, % pen-<br>tru<br>$= 5,65 \sqrt{S_0}$<br>min | Diametrul<br>dornului<br>la îndoire<br>la rece<br>la 180° | Reziliența <sup>4)</sup><br>KCU 300/2<br>J/cm <sup>2</sup><br>(kgf. m/cm <sup>2</sup> ) | Energia de<br>rucere <sup>5)</sup><br>Tem- KV<br>pera- J<br>tura (kgf. m)<br>°C min. |             |                      |
| OL 37                                   | 240<br>(24)                                                                                                            | 230<br>(23)      | 210<br>(21)       | 360...440<br>(37...45)                                                                        | 25                                                                                     | 1,0a 1,5a                                                 | 69<br>(7)                                                                               | 59<br>(6)                                                                            | +20 27(2,8) | 1                    |
|                                         |                                                                                                                        |                  |                   |                                                                                               |                                                                                        |                                                           | -                                                                                       | -                                                                                    | -           | 1b                   |
|                                         |                                                                                                                        |                  |                   |                                                                                               |                                                                                        |                                                           | -                                                                                       | -                                                                                    | 0 27(2,8)   | 3                    |
|                                         |                                                                                                                        |                  |                   |                                                                                               |                                                                                        |                                                           | -20 27(2,8)                                                                             | 4                                                                                    |             |                      |
| OL 44                                   | 280<br>(29)                                                                                                            | 270<br>(28)      | 250<br>(26)       | 430...540<br>(44...55)                                                                        | 22                                                                                     | 2,0a 2,5a                                                 | 59(6)                                                                                   | 59(6)                                                                                | +20 27(2,8) | 2                    |
|                                         |                                                                                                                        |                  |                   |                                                                                               | 25                                                                                     |                                                           | -                                                                                       | -                                                                                    | 0 27(2,8)   | 3                    |
|                                         |                                                                                                                        |                  |                   |                                                                                               |                                                                                        |                                                           | -                                                                                       | -                                                                                    | -20 27(2,8) | 4                    |
|                                         |                                                                                                                        |                  |                   |                                                                                               |                                                                                        |                                                           | 59(6)                                                                                   | 59(6)                                                                                | +20 27(2,8) | 2                    |
| OL 52                                   | 350<br>(36)                                                                                                            | 340<br>(35)      | 330<br>(34)       | 510...630<br>(52...64)                                                                        | 21                                                                                     | 2,5a 3,0a                                                 | 59(6)                                                                                   | 59(6)                                                                                | +20 27(2,8) | 3                    |
|                                         |                                                                                                                        |                  |                   |                                                                                               | 22                                                                                     |                                                           | -                                                                                       | -                                                                                    | 0 27(2,8)   | 4                    |

**Observații:**

1. La produsele cu grosimi sau diametre între 63 și 100 mm, valorile limitei de curgere se reduc cu maximum 20 N/mm<sup>2</sup> (2 kgf/mm<sup>2</sup>); la înțelegere, între părți, limita de curgere poate fi garantată și pentru dimensiuni peste cele prevăzute în tabel, valorile urmând a fi stabilite de comun acord, ca o condiție suplimentară la livrare.



2. Depășirea limitelor superioare ale rezistențelor la tracțiune cu max.  $20\text{N/mm}^2$  ( $2\text{kgf/mm}^2$ ) nu constituie un motiv de refuz dacă sînt respectate celelalte caracteristici din standard.
3. Valorile alungirii sînt garantate pentru profile pline, bare forjate, table și benzi, în grosimi de la 8 pînă la 40 mm inclusiv și pentru profile fasonate cu grosimi de la 6 la 16 mm inclusiv, pe epruvete prelevate longitudinal. Valorile alungirilor pentru epruvete transversale (table și benzi) sînt cu două unități mai mici.

Valorile alungirii garantate pentru alte grosimi de produse se vor stabili astfel:

- pentru profile pline, benzi și bare forjate cu diametre sau grosimi pînă la 8 mm inclusiv, profile fasonate pînă la 6 mm inclusiv, table și benzi cu grosimea de la 4 la 8 mm, valorile alungirii din tabel se reduc cu cîte o unitate pentru fiecare milimetru de reducere a grosimii;
  - pentru profile pline, table și benzi cu diametre sau grosimi de 40 mm și peste, profile fasonate cu grosimea peste 16 mm pînă la 100 mm inclusiv, valorile alungirii se reduc cu cîte o unitate pentru fiecare 4 mm în plus la grosime, dar cel mult cu 3 unități;
  - pentru profile pline, bare forjate și table cu diametre sau grosimi peste 100 mm, valorile alungirii se determină în mod obligatoriu și se trec în certificatul de calitate, dar nu constituie un motiv de respingere.
4. La înțelegere, între părți, se poate garanta reziliența KCU 300/2 și pentru clasele de calitate 3 și 4, aceasta constituind o condiție suplimentară de livrare.
5. Valoarea garantată a energiei de rupere KV de 27 J(2,8 kgf.m) se referă la epruvete longitudinale cu secțiunea de 10x10 mm, prelevate din produse cu diametrul sau grosimea pînă la 100 mm și reprezintă media valorilor individuale, dintre care nici una nu trebuie să fie sub 21 J(2,1kgf.m). La produse cu grosimi de 6 - 12 mm, valorile energiei de rupere, KV, determinate pe o epruvetă cu secțiunea de 5 x 10 mm sau 7,5 x 10 mm, se stabilesc la înțelegere, între părți.

Pentru produsele cu diametrul sau grosimea peste 100 mm, valorile energiei de rupere, KV, se garantează numai cu acordul producătorului. La înțelegere, între părți, se poate garanta energia de rupere, KV, de 27 J(2,8 kgf.m) pe probe cu diametrul de 16 mm, în stare normalizată.



TABELUL 5.3

| Caracteristica garantată                       | Clasa de calitate |    |    |   |   |   |
|------------------------------------------------|-------------------|----|----|---|---|---|
|                                                | 1                 | 1a | 1b | 2 | 3 | 4 |
| Compoziția chimică a oțelului lichid           | x                 | x  | -  | x | x | x |
| Caracteristicile mecanice la tracțiune         | x                 | -  | x  | x | x | x |
| Unghiul de îndoire la rece pe dorn             | x                 | -  | x  | x | x | x |
| Energia de rupere KV la temperatura de: + 20°C | -                 | -  | -  | x | - | - |
| 0°C                                            | -                 | -  | -  | - | x | - |
| - 20°C                                         | -                 | -  | -  | - | - | x |

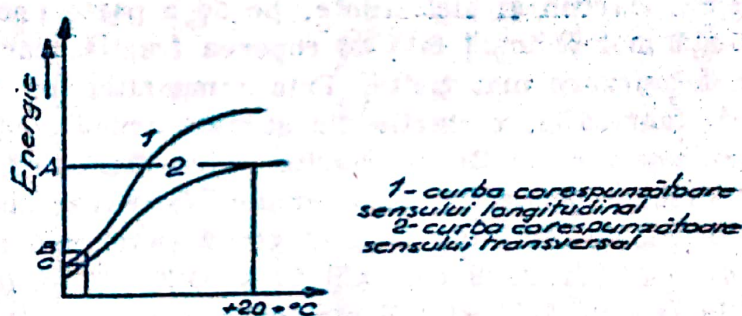


Fig. 5.2. Ilustrarea grafică a rațiunii de a adopta direcția longitudinală la preluarea probelor pentru determinarea temperaturii de tranziție.

A - nivelul minim garantat al rezilienței prin prescripțiile tradiționale;

B - nivelul energiei de rupere corespunzător temperaturii de tranziție în cazul folosirii epruvetelor longitudinale;

C - nivelul energiei de rupere corespunzător temperaturii de tranziție în cazul folosirii epruvetelor transversale.



### 5.1.1.2. Oțeluri rezistente la coroziune atmosferică

Mărcile de oțeluri rezistente la coroziune atmosferică pentru structuri mecano-sudate sînt grupate în STAS 500/3; aceste oțeluri, datorită elementelor de aliere din constituția lor, au proprietatea de a forma în contact cu atmosfera o peliculă superficială de oxizi, extrem de aderentă și foarte rezistentă față de acțiunea corosivă a atmosferei, ceea ce le conferă, în aceste condiții, o rezistență sporită. Din punct de vedere al proprietăților de întrebuințare și tehnologice (tabelul 5.4), oțelurile din această grupă sînt foarte asemănătoare cu cele din grupa precedentă, care-dealtfel - constituie mărcile de bază din care au fost diversificate.

Garanțiile de calitate care se acordă pentru fiecare clasă sînt cele din tabelul 5.3.

### 5.1.1.3. Oțeluri cu limita de curgere ridicată și foarte ridicată (granulație fină)

Oțelurile din această grupă au fost dezvoltate din grupa oțelurilor clasice, carbon și slab aliate, pe de o parte pentru a prezenta o rezistență mai ridicată față de ruperea fragilă, iar pe de altă parte o limită de curgere mai înaltă. Prin compoziția lor chimică și prin tehnologia de fabricație, oțelurile din această grupă conțin precipitate de nitruri și/sau carburi fin distribuite, care împiedică creșterea granulației în domeniul austenitic și determină formarea unei granulații fine. Cele 5 mărci de oțel, din această grupă, sînt cuprinse în STAS 9021 (OCS 44, OCS 52, OCS 55, OCS 58 și OCS 90) și în NTR 474.

În tabelul 5.5 și 5.6 sînt prezentate valorile caracteristicilor mecanice și tehnologice garantate prin standard, iar în tabelul 5.7, valorile energiei de rupere, KV, care se pot determina și la alte temperaturi decît cele din tabelul 5.6, la cererea beneficiarului.

În cazul tablelor cu grosimi de 6 - 12 mm, energia de rupere, KV, se determină pe epruvete cu lățimi de 7,5 și de 5 mm; în acest caz, valorile rezilienței garantate se determină ca fracții ale rezilienței determinată pe epruvete normale, în proporțiile stabilite prin standard.

Valorile limitei de curgere la cald se garantează la tablele cu grosimea mai mică de 60 mm, conform tabelului 5.8; la grosimi mai mari, valorile limitei de curgere la cald se stabilesc de comun acord.

Calitățile în care se fabrică și se livrează produsele din mărcile de oțeluri din grupa OCS sînt prezentate în tabelul 5.9, iar



TABELUL 5.4

| Marca<br>oțelului | Limita de<br>curgere $R_{eH}$<br>$N/mm^2$<br>( $kgf/mm^2$ )<br>min | Rezistența <sup>1)</sup><br>la tracțiune<br>$R_m$<br>$N/mm^2$<br>( $kgf/mm^2$ ) | Alungirea <sup>2)</sup><br>la rupere,<br>A, % pen-<br>tru<br>$=5,65 \sqrt{S_0}$<br>min | Diametrul<br>dornului<br>la îndoire<br>la rece la<br>180° | Reziliența <sup>3)</sup><br>KCU 300/2<br>la + 20°C<br>$J/cm^2$<br>( $kgf.m/cm^2$ )<br>min | Energia de rupere <sup>4)</sup> |                         | Clasa de<br>calitate |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------|
|                   |                                                                    |                                                                                 |                                                                                        |                                                           |                                                                                           | Temperatura<br>C                | KV<br>$J(kgf.m)$<br>min |                      |
|                   |                                                                    |                                                                                 |                                                                                        |                                                           |                                                                                           |                                 |                         | 1:1a:1b              |
| RCA 37            | 240                                                                | 360 ... 440                                                                     | 25                                                                                     | 2,0a                                                      | 69(7)                                                                                     | + 20                            | 27(2,8)                 | 2                    |
|                   | (24)                                                               | (37 ... 45)                                                                     | 26                                                                                     |                                                           | -                                                                                         | + 0                             | 27(2,8)                 | 3                    |
| RCB 52            | 350                                                                | 510 ... 610                                                                     | 21                                                                                     | 2,5a                                                      | 69(7)                                                                                     | + 20                            | 27(2,8)                 | 2                    |
|                   | (36)                                                               | (52 ... 62)                                                                     | 22                                                                                     |                                                           | -                                                                                         | + 0                             | 27(2,8)                 | 3                    |
|                   |                                                                    |                                                                                 |                                                                                        |                                                           | -                                                                                         | - 20                            | 27(2,8)                 | 4                    |

**Observații:**

1. Depășirea limitelor superioare a rezistenței la tracțiune cu max. 50  $N/mm^2$  (5  $kgf/mm^2$ ) pentru marca RCA 37 și cu max. 20  $N/mm^2$  (2  $kgf/mm^2$ ) pentru marca RCB 52 nu constituie motiv de refuz, dacă toate celelalte caracteristici din standard sînt respectate.
2. Valorile alungirii sînt garantate pentru profile pline, table cu grosimea peste 8 mm și pentru profile fasonate cu grosimea de peste 6 mm, pe epruvete longitudinale. Pentru produse cu grosimi sub aceste valori, valorile alungirii se reduc cu cîte o unitate pentru fiecare milimetru de reducere a grosimii. Valorile pentru epruvete transversale sînt mai mici cu două unități.
3. La cererea beneficiarului, se poate garanta reziliența KCU 300/2 la + 20°C și pentru clasele de calitate 3 și 4, aceasta constituind o condiție suplimentară de livrare.
4. Valoarea energiei de rupere KV de 27 J (2,8  $kgf.m$ ) se referă la epruvete longitudinale cu secțiunea de 10x10 mm și rezistența medie a valorilor individuale, dintre care nici una nu trebuie să fie sub 21 J (2,1  $kgf.m$ ). La produse cu grosimi sub 10 mm, valorile energiei de rupere, KV, determinate pe epruvete cu secțiunea de 5 x 10 mm sau 7,5 x 10 mm, se stabilesc la înțelegere, între părți.
5. Produsele din marca de oțel RCA 37 se fabrică cu grosimi sau diametre pînă la 12 mm. Profilele din marca de oțel RCB 52, cu acordul producătorului, se pot livra cu grosimi pînă la 20 mm.



garanțiile acordate pentru fiecare calitate în tabelul 5.10.

#### 5.1.1.4. Oțeluri cu limită de curgere ridicată, prelucrabile prin îndoire la rece

Oțelurile din această grupă sînt destinate formării la rece pe abkant sau pe laminoare continuu, avînd o mare capacitate de deformare, conferită prin elementele de aliere pe care le conțin : Ti, Nb, Al și elemente care reacționează cu sulfurul. La noi în țară, din această grupă este tipizată o singură marcă de oțel L42, care prin proprietățile sale tehnologice și de întrebuințare acoperă corespunzător domeniul de utilizare a acestor mărci de oțeluri. Prescripțiile de calitate ale mărcii de oțel L42 sînt precizate prin standardul de stat 11505, din care se redă tabelul 5.11, în care sînt înscrise valorile garantate de proprietățile sale de întrebuințare și tehnologice.

#### 5.1.1.5. Oțeluri rezistente la uzură

În țara noastră, este tipizată o singură marcă de oțel sudabil rezistent la uzură, 20Mn10, ale cărei condiții tehnice de calitate sînt prescrise în STAS 11513. În tabelul 5.12 sînt prezentate proprietățile de întrebuințare garantate pentru oțelul 20Mn10.

Valorile din tabel sînt valabile pentru probele prelevate cu grosimea de max. 80 mm. În cazul unor produse cu grosimea peste 80 mm, se admite reducerea valorilor minime ale alungirii cu 2%, ale găturii cu 5% și ale rezilienței cu 10%.

#### 5.1.2. Oțelurile pentru recipiente

Oțelurile din această familie, destinate confecționării de recipiente sub presiune, care lucrează la temperatura ambiantă sau la temperaturi scăzute, sînt foarte apropiate de cele din familia precedentă, în special de cele din grupa OCS, de care se deosebesc printr-o mai ridicată puritate chimică în elemente nocive (S și P) și, în consecință, printr-o rezistență mai înaltă față de ruperea fragilă. Pentru temperaturi sub - 50°C pînă la - 100°C se utilizează oțelul cu 3,5% nichel, iar sub această temperatură oțelurile austenitice. În tabelul 5.13 sînt prezentate principalele domenii de utilizare și formele de livrare ale oțelurilor pentru recipiente, așa cum sînt precizate în Decretul 99 al Consiliului de Stat referitor la tipizarea mărcilor și produse lor din oțel.





TABELUL 5.5

| Marca<br>oțelului | Caracteristici mecanice la tracțiune                                         |                  |                       | Rezistența la ru-<br>pere, $R_m$<br>N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Alungirea la ru-<br>pere A,% <sup>2)</sup> pen-<br>tru $L_0=5,65\sqrt{S_0}$<br>mm | Indoirea la rece <sup>3)</sup><br>la 180°C, pe dorn<br>cu diametrul, d |                  |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|
|                   | Limita de curgere $R_{eH}$ , N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )<br>min |                  |                       |                                                                              |                                                                                   |                                                                        |                  |
|                   | pentru table cu grosimea a, mm                                               |                  |                       |                                                                              |                                                                                   |                                                                        |                  |
|                   | $a \leq 16$                                                                  | $16 < a \leq 40$ | $40 < a \leq 100$     | $a \leq 100$                                                                 | $8 < a \leq 25$                                                                   | $a \leq 16$                                                            | $a > 16$         |
| OCS 44            | 285(29)                                                                      | 255(26)          | 215(22)               | 430 ... 540<br>(44 ... 55)                                                   | 23                                                                                | 2a                                                                     | 2,5a             |
| OCS 52            | 355(36)                                                                      | 334(34)          | 315(32)               | 510 ... 610<br>(52 ... 62)                                                   | 20                                                                                | 2,5a                                                                   | 3a               |
| OCS 55            | 420(43)                                                                      | 410(42)          | 365(37)               | 540 ... 680 <sup>1)</sup><br>(55 ... 69)                                     | 19                                                                                | 3a                                                                     | 3,5a             |
| OCS 58            | 460(47)                                                                      | 450(46)          | 400(41)               | 570 ... 730 <sup>1)</sup><br>(58 ... 74)                                     |                                                                                   |                                                                        |                  |
| OCS 90            | 685(70)                                                                      | 640(65)          | 590(60) <sup>4)</sup> | 665 ... 930<br>(68 ... 95)                                                   | 16                                                                                | 2a                                                                     | 3a <sup>4)</sup> |

**Observații:**

1. Reducerea valorilor de rezistență cu 30 N/mm<sup>2</sup> (3kgf/mm<sup>2</sup>) nu constituie motiv de refuz, dacă se respectă celelalte caracteristici din standard.
2. Valorile alungirilor la rupere pentru alte grosimi decât cele date în tabel se stabilesc astfel:
  - la table cu grosimi până la 8 mm inclusiv, valorile din tabel se vor reduce cu o unitate pentru fiecare milimetru de reducere a grosimii;
  - la table cu grosimi peste 25 mm până la 100 mm inclusiv, valorile din tabel se vor reduce cu o unitate pentru fiecare 4 mm în plus de grosime, dar cu cel mult trei unități.
3. Valorile diametrului dornului, rezultate din calcul, se rotunji la dimensiunea cea mai apropiată din dimensiunile nominale de diametre din STAS 777-80, dacă acestea sînt mai mici de 70 mm și multipli de 10 dacă sînt mai mari de 70 mm.
4. Grosimea maximă a tablei este limitată la 60 mm.



TABELUL 5.6

| Marca<br>oțelului    | Clasa de<br>calitate | Energia minimă de rupere, KV, în J (kgf/m) la<br>temperatura de: |         |         |         |         | Reziliența KCU 300/2 la<br>+20°C J/cm <sup>2</sup> (kgf.m/cm <sup>2</sup> )<br>min. pentru starea: |             |
|----------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                      |                      | +0°C                                                             | - 20°C  | - 30°C  | - 40°C  | - 50°C  | de livrare                                                                                         | îmbătrinită |
| OCS 44               | 5                    |                                                                  |         | 28(2,8) |         |         | 60(6)                                                                                              | 35(3,5)     |
|                      | 6                    |                                                                  |         |         | 28(2,8) |         |                                                                                                    |             |
| OCS 52 <sup>x)</sup> | 5                    |                                                                  |         | 28(2,8) |         |         | 60(6)                                                                                              | 35(3,5)     |
|                      | 6                    |                                                                  |         |         | 28(2,8) |         |                                                                                                    |             |
|                      | 7                    |                                                                  |         |         |         | 28(2,8) |                                                                                                    |             |
| OCS 55<br>și         | 3                    | 28(2,8)                                                          |         |         |         |         | 70(7)                                                                                              | 40(4)       |
| OCS 58               | 4                    |                                                                  | 28(2,8) |         |         |         |                                                                                                    |             |
|                      | 5                    |                                                                  |         | 28(2,8) |         |         |                                                                                                    |             |
| OCS 90               | 4                    |                                                                  | 28(2,8) |         |         |         |                                                                                                    |             |
|                      | 5                    |                                                                  |         | 28(2,8) |         |         |                                                                                                    |             |
|                      | 6                    |                                                                  |         |         | 28(2,8) |         |                                                                                                    |             |

<sup>x)</sup> La cererea beneficiarului pentru această marcă se poate garanta, la livrare, reziliența KCU 300/2 la - 60°C cu valoarea de min. 35 J/cm<sup>2</sup> (3,5 kgf.m/cm<sup>2</sup>)



TABELUL 5.7

| Marca<br>oțelului   | Clasa de<br>calitate | Energia de rupere, KV, la temperatura de: |          |          |          |
|---------------------|----------------------|-------------------------------------------|----------|----------|----------|
|                     |                      | $\pm$ 0°C                                 | - 20°C   | - 30°C   | - 40°C   |
|                     |                      | J (kgf. m), min.                          |          |          |          |
| OCS 44              | 5                    | 40(4, 0)                                  | 35(3, 5) | -        | -        |
|                     | 6                    | 48(4, 8)                                  | 40(4, 0) | 35(3, 5) | -        |
| OCS 52              | 5                    | 40(4, 0)                                  | 35(3, 5) | -        | -        |
|                     | 6                    | 48(4, 8)                                  | 40(4, 0) | 35(3, 5) | -        |
|                     | 7                    | 55(5, 5)                                  | 48(4, 8) | 40(4, 0) | 35(3, 5) |
| OCS 55 și<br>OCS 58 | 4                    | 35(3, 5)                                  | 35(3, 5) | -        | -        |
|                     | 5                    | 40(4, 0)                                  | 35(3, 5) | -        | -        |
| OCS 90              | 4                    | 35(3, 5)                                  | -        | -        | -        |
|                     | 5                    | 40(4, 0)                                  | 35(3, 5) | -        | -        |
|                     | 6                    | 48(4, 0)                                  | 40(4, 0) | 35(3, 5) | -        |



TABELUL 5.8

| Marca<br>oțelului | Limita de curgere convențională $R_{p0,2}$<br>$N/mm^2$ ( $kgf/mm^2$ ), min. la: |         |         |         |         |         |         |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                   | 100°C                                                                           | 150°C   | 200°C   | 250°C   | 300°C   | 350°C   | 400°C   |
| OCS 44            | 245(25)                                                                         | 225(23) | 205(21) | 185(19) | 155(16) | 135(14) | 120(12) |
| OCS 52            | 295(30)                                                                         | 275(28) | 255(26) | 235(24) | 215(22) | 195(20) | 165(17) |
| OCS 55            | 355(36)                                                                         | 335(34) | 315(32) | 285(29) | 265(27) | 235(24) | 205(21) |
| OCS 58            | 390(40)                                                                         | 360(37) | 345(35) | 315(32) | 295(30) | 265(27) | 235(24) |
| OCS 90            | 510(52)                                                                         | 500(51) | 490(50) | 480(49) | 470(48) | 450(46) | 420(43) |

TABELUL 5.9

| Marca<br>oțelului | Clase de calitate |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|
|                   | 3a                | 3b | 4a | 4b | 5a | 5b | 6a | 7a |
| OCS 44            |                   |    |    |    | x  | x  | x  |    |
| OCS 52            |                   |    |    |    | x  | x  | x  | x  |
| OCS 55            | x                 | x  | x  | x  | x  | x  |    |    |
| OCS 58            | x                 | x  | x  | x  | x  |    |    |    |
| OCS 90            |                   |    | x  | x  | x  | x  | x  |    |



TABELUL 5.10

| Nr.<br>crt. | Caracteristici garantate                                                                        | Clase de calitate |    |    |    |     |     |    |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----|----|----|-----|-----|----|----|
|             |                                                                                                 | 3a                | 3b | 4a | 4b | 5a  | 5b  | 6a | 6b |
| 1           | Compoziția chimică pe oțel lichid                                                               | x                 | x  | x  | x  | x   | x   | x  | x  |
| 2           | Caracteristicile la tracțiune                                                                   | x                 | x  | x  | x  | x   | x   | x  | x  |
| 3           | Unghiul de îndoire la rece pe dorn                                                              | x                 | x  | x  | x  | x   | x   | x  | x  |
| 4           | Reziliența, KCU 300/2, pe direcția transversală, la temperatura de +20°C*)                      | x                 | x  | x  | x  | x   | x   | x  | x  |
| 5           | Energia de rupere, KV, pe direcția longitudinală, la temperatura de: $\pm 0^{\circ}\text{C}$    | x                 | x  |    |    |     |     |    |    |
|             | - 20°C                                                                                          |                   |    | x  | x  |     |     |    |    |
|             | (-30°C)                                                                                         |                   |    |    |    | (x) | (x) |    |    |
|             | - 40°C                                                                                          |                   |    |    |    |     |     | x  |    |
|             | - 50°C                                                                                          |                   |    |    |    |     |     |    | x  |
| 6           | Limita de curgere la cald                                                                       |                   | x  |    | x  |     | x   |    |    |
| 7           | Unghiul minim de îndoire al epruvetei încărcată longitudinal cu sudură pentru $C_e \geq 0,44\%$ | x                 | x  | x  | x  | x   | x   | x  | x  |

\*) Cu excepția mărcii de oțel OCS 90



TABELUL 5.11

| Limita de<br>curgere                                                         | Rezistența<br>la rupere                                       | Alungire<br>A <sub>5</sub> | Energie de<br>rupere, KV,<br>la -20°C | Sensul de<br>îndoire<br>față de<br>direcția<br>de lami-<br>nare | Grosime mm                                  |                      |                      |                      |                      |                      |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                                                              |                                                               |                            |                                       |                                                                 | 3 pînă<br>la 4                              | Peste 4<br>pînă la 5 | Peste 5<br>pînă la 6 | Peste 6<br>pînă la 7 | Peste 7<br>pînă la 8 | Peste 8<br>pînă la 9 |
| R <sub>po, 2, 2</sub><br>N/mm <sup>2</sup><br>(kgf/mm <sup>2</sup> )<br>min. | R <sub>m</sub><br>N/mm <sup>2</sup><br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | %<br>min.                  | min.                                  |                                                                 | Raza de îndoire interioară admisibilă, min. |                      |                      |                      |                      |                      |
| Marca de oțel L 42                                                           |                                                               |                            |                                       |                                                                 |                                             |                      |                      |                      |                      |                      |
| 412                                                                          | 529...686                                                     | 1200/R <sub>m</sub>        | 28                                    | long.                                                           | 5                                           | 6                    | 8                    | 10                   | 12                   | 16                   |
| (42)                                                                         | (54...70)                                                     |                            | (2,8)                                 | trans.                                                          | 4                                           | 5                    | 6                    | 8                    | 8                    | 10                   |

Observatii:

1. Se admite depășirea limitelor superioare și inferioare ale rezistenței la rupere cu max. 19,6 N/mm<sup>2</sup> (2 kgf/mm<sup>2</sup>), dacă toate celelalte condiții prescrise sînt respectate.
2. Energia de rupere, KV, la - 20°C se determină pentru grosimi de peste 10 mm pe epruvete normale, prelevate longitudinal față de direcția de laminare; pentru grosimi de 6 - 10 mm, energia de rupere se determină pe epruvete reduse, iar valorile sînt informative; la grosimi sub 6 mm încercarea nu se execută.

Energia de rupere, KV, se obține din media valorilor a trei încercări din care o determinare se admite să fie de min. 80% din valoarea prescrisă, respectîndu-se media prescrisă.



TABELUL 5.12

| Marca<br>oțelului | Rezistența<br>la rupere<br>$R_m$ , $N/mm^2$<br>( $kgf/mm^2$ )<br>min. | Limita de<br>curgere<br>$R_{p0,2}$ , $N/mm^2$<br>( $kgf/mm^2$ )<br>min. | Alungire<br>la rupere<br>$A$ , %<br>min. | Gîtuirea la rupere<br>$Z$ , %<br>min. |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| 20Mn10            | 450(46)                                                               | 270(28)                                                                 | 24                                       | 50                                    |

TABELUL 5.13

| Marca<br>oțelului                                                                                                   | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                  | Formele de livrare             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>a. Oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune pentru temperatură ambiantă și scăzută (frig atmosferic)</b> |                                                                                                                                                                                    |                                |
| R 37                                                                                                                |                                                                                                                                                                                    | Produse plate laminate la cald |
|                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                    | Produse plate laminate la cald |
| R 44                                                                                                                | Recipiente și aparate sub presiune ce lucrează la temperatura ambiantă și scăzută (frig atmosferic)                                                                                | Semifabricate pentru forjare   |
|                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                    | Profile laminate la cald       |
| R 52                                                                                                                |                                                                                                                                                                                    | Produse plate laminate la cald |
|                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                    | Semifabricate pentru forjare   |
| <b>b. Oțeluri pentru recipiente sub presiune cu condiții speciale de calitate</b>                                   |                                                                                                                                                                                    |                                |
| 09Mn16                                                                                                              | Recipiente sub presiune, elemente componente și părți de utilaje tehnologice, structuri mecano-sudate care lucrează la temperaturi joase (frig atmosferic), vagoane de cale ferată | Produse plate laminate la cald |
|                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                    | Profile laminate la cald       |
| 09MnSi16                                                                                                            |                                                                                                                                                                                    | Produse plate laminate la cald |



TABELUL 5.13 (continuare)

| Marca<br>oțelului                                                                | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                   | Formele de livrare                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                  |                                                                                                                                                                                                     | Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru<br>forjare                                |
| RV 52                                                                            | Rezervoare sferice pentru gaze li-<br>cheificate și comprimate                                                                                                                                      | Produse plate laminate<br>la cald<br>Semifabricate pentru<br>forjare                       |
| R 55 și<br>R 58                                                                  | Recipiente și aparate sub presiune<br>care lucrează la temperaturi joase<br>(frig atmosferic) și sînt supuse<br>unor tensiuni mecanice ridicate                                                     | Produse plate laminate<br>la cald                                                          |
| <b>c. Oțeluri pentru recipiente care lucrează în condiții de frig industrial</b> |                                                                                                                                                                                                     |                                                                                            |
| 10N135                                                                           | Recipiente și aparate sub presiune,<br>precum și elemente componente sau<br>părți de instalații tehnologice, care<br>funcționează la temperaturi scăzute<br>între - 50 și - 100°C (frig industrial) | Produse plate laminate<br>la cald<br>Semifabricate pentru for-<br>jare<br>Produse tubulare |

**5.1.2.1. Oțeluri pentru aparate și recipiente sub presiune  
la temperatura ambiantă și scăzută (frig atmosferic)**

Mărcile de oțeluri pentru aparate și recipiente sub presiune, care lucrează la temperaturi scăzute pînă la - 50°C (frig atmosferic), sînt grupate în standardul de stat 2883/2 și sînt elaborate și livrate în clasele de calitate precizate în tabelul 5.14; pentru care se acordă garanțiile din tabelul 5.15.

TABELUL 5.14

| Marca<br>oțelului | Clase de calitate |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|
|                   | 3b                | 4a | 4b | 5a | 5b | 6a | 6b | 7a |
| R 37              | x                 | x  | x  |    |    |    |    |    |
| R 44              | x                 | x  | x  | x  | x  | x  | x  |    |
| R 52              | x                 | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  |



TABELUL 5.15

| Nr.<br>crt. | Caracteristici garantate                                               | Clase de calitate |    |    |    |    |    |    |       |
|-------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|-------|
|             |                                                                        | 3b                | 4a | 4b | 5a | 5b | 6a | 6b | 7a 7b |
| 1           | Compoziția chimică pe oțel lichid                                      | x                 | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x     |
| 2           | Caracteristici mecanice la tracțiune                                   | x                 | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x     |
| 3           | Unghiul de îndoire la rece pe dorn                                     | x                 | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x     |
| 4           | Reziliența, KCU 300/2, pe direcția transversală, la + 20°C             | x                 | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x     |
| 5           | Energia de rupere, KV, pe direcția longitudinală, la temperatura de:   | x                 |    |    |    |    |    |    |       |
|             | + 0°C                                                                  |                   |    |    |    |    |    |    |       |
|             | - 20°C                                                                 |                   | x  | x  |    |    |    |    |       |
|             | - 30°C                                                                 |                   |    |    | x  | x  |    |    |       |
|             | - 40°C                                                                 |                   |    |    |    |    | x  | x  |       |
|             | - 50°C                                                                 |                   |    |    |    |    |    |    | x     |
| 6           | Limita de curgere la cald                                              | x                 |    | x  |    | x  |    | x  | x     |
| 7           | Reziliența, KCU 300/2, pe direcția transversală, la - 60°C (la cerere) |                   |    |    |    |    |    |    | x     |

În tabelul 5.16 sînt prezentate valorile garantate ale caracteristicilor mecanice la tracțiune și îndoire la rece pe dorn la temperatura ambiantă, iar în tabelul 5.17 - valorile limitelor de curgere la cald.

Valoarea medie garantată a energiei la rupere, KV, este de min. 27 J (2,8 kgf.m) la temperatura corespunzătoare clasei de calitate a oțelului; pentru mărcile R 44 și R 52, la cererea beneficiarului se pot determina, cu caracter informativ, energiile de rupere și la alte temperaturi, conform tabelului 5.18. Pentru table cu grosimi sub 12 mm se garantează valori mai mici, de 23 J (2,3 kgf.m) pe epruvete de 7,5 mm și respectiv, 19 J (1,9 kgf.m) pe epruvete de 5 mm, în funcție de grosimea tablei.



TABELUL 5.16

| Marca<br>oțelului | Caracteristicile mecanice la tracțiune                                                   |                  |                                                                                            |                                                                                          | Indoirea la rece la<br>180° pe dorn <sup>4)</sup> cu<br>diametrul d |             |          |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------|----------|
|                   | Limita de curgere $R_e, R_{eH}^{1)}$<br>N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )<br>min. | $R_{p0,2}$ sau   | Rezistența la<br>rupere <sup>2)</sup><br>$R_m$ N/mm <sup>2</sup><br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | Alungirea la ru-<br>pere <sup>3)</sup><br>A, % pentru<br>$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$<br>min. |                                                                     |             |          |
|                   | pentru table cu grosimea a, mm                                                           |                  |                                                                                            |                                                                                          |                                                                     |             |          |
|                   | $a \leq 16$                                                                              | $16 < a \leq 40$ | $40 < a \leq 60$                                                                           | $a \leq 100$                                                                             | $8 < a \leq 25$                                                     | $a \leq 16$ | $a > 16$ |
| R 37              | 235(24)                                                                                  | 225(23)          | 205(21)                                                                                    | 360...440<br>(37...45)                                                                   | 24                                                                  | d= 1a       | d =1,5a  |
| R 44              | 285(29)                                                                                  | 275(28)          | 255(26)                                                                                    | 430...540<br>(44...55)                                                                   | 23                                                                  | d= 2a       | d =2,5a  |
| R 52              | 350(36)                                                                                  | 340(35)          | 330(34)                                                                                    | 510...610<br>(52...62)                                                                   | 20                                                                  | d=2,5a      | d= 3a    |

Observații:

- Se determină numai una din cele trei caracteristici menționate; la tablele cu grosimi peste 60 mm, pînă la 100 mm, valorile minime ale limitei de curgere se reduc cu 1% pentru fiecare 5 mm de grosime în plus, iar la cele peste 100 mm - pe bază de înțelegere.
- La table cu grosimi peste 100 mm se garantează numai valorile minime ale rezistenței la rupere  $R_m$ ; se admite depășirea limitelor maxime prescrise cu max. 19,6 N/mm<sup>2</sup> (2 kgf/mm<sup>2</sup>), dacă se obțin valorile prescrise ale limitei de curgere și alungire.
- Valorile alungirilor la rupere pentru alte grosimi decît cele de mai sus se stabilesc astfel:
  - la table cu grosimi pînă la 8 mm, inclusiv, valorile se reduc cu o unitate pentru fiecare milimetru de reducere a grosimii;
  - la table cu grosimi peste 25 mm pînă la 100 mm, inclusiv, valorile se reduc cu o unitate pentru fiecare mm în plus de grosime, dar cu cel mult 3 unități.



TABELUL 5.17

| Marca<br>oțelului | Limita de curgere convențională $R_{po,2}$ în $N/mm^2$ ( $kgf/mm^2$ ) min, la: |         |         |         |         |         |         |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                   | 100°C                                                                          | 150°C   | 200°C   | 250°C   | 300°C   | 350°C   | 400°C   |
| R 37              | 205(21)                                                                        | 185(19) | 175(16) | 155(14) | 135(14) | 120(12) | 100(10) |
| R 44              | 245(25)                                                                        | 225(23) | 205(21) | 185(19) | 155(19) | 135(14) | 120(12) |
| R 52              | 295(30)                                                                        | 275(28) | 255(26) | 235(24) | 215(22) | 196(20) | 165(17) |

Observații:

1. Pentru temperaturi intermediare, valorile limitei de curgere se stabilesc prin interpolare.
2. Valorile din tabel ale limitei de curgere la cald se garantează pentru grosimi până la 60mm; la grosimi cuprinse între 60 și 100 mm, valorile limitei de curgere la cald se reduc cu 1% pentru fiecare 5 mm de grosime în plus, iar la grosimi de peste 100 mm pe bază de înțelegere.



TABELUL 5.18

| Marca<br>oțelului | Clasa<br>de ca-<br>litate | Energia de rupere, KV, la temperatura de<br>J(kgf. m), min. |                       |                       |                       |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   |                           | $\pm 0^{\circ}\text{C}$                                     | $-20^{\circ}\text{C}$ | $-30^{\circ}\text{C}$ | $-40^{\circ}\text{C}$ |
| R 44              | 5                         | 39(4, 0)                                                    | 34(3, 5)              | -                     | -                     |
|                   | 6                         | 47(4, 8)                                                    | 39(4, 0)              | 34(3, 5)              | -                     |
| R 52              | 5                         | 39(4, 0)                                                    | 34(3, 5)              | -                     | -                     |
|                   | 6                         | 47(4, 8)                                                    | 39(4, 0)              | 34(3, 5)              | -                     |
|                   | 7                         | 54(5, 5)                                                    | 47(4, 8)              | 39(4, 0)              | 34(3, 5)              |

#### 5.1.2.2. Oțeluri cu condiții speciale de calitate pentru re- cipiente sub presiune

Oțelurile din această grupă reprezintă o continuare a celor precedente, atât sub aspectul limitelor de curgere, cât și al purității chimice în elemente nocive (S și P) sensibil mai ridicate, ceea ce le impune în construcția de recipiente sub presiune supuse la tensiuni mecanice ridicate și la care riscul de rupere fragilă trebuie să fie minim.

În tabelul 5.19 sunt prezentate garanțiile acordate, conform STAS 11502, în cazul oțelurilor cu condiții speciale de calitate pentru recipiente sub presiune.

TABELUL 5.19

| Nr.<br>crt. | Caracteristica garantată                  | Verificări<br>obligatorii | Verificări<br>suplimentare<br>la cerere |
|-------------|-------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| 1           | Compoziția chimică pe oțel lichid         | x                         | -                                       |
| 2           | Compoziția chimică pe produs              | -                         | x                                       |
| 3           | Caracteristicile mecanice de<br>tracțiune | x                         | -                                       |



TABELUL 5.19(continuare)

| Nr. crt. | Caracteristica garantată                                                                              | Verificări obligatorii | Verificări suplimentare la cerere |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 4        | Limita de curgere la cald <sup>1)</sup>                                                               | -                      | x                                 |
| 5        | Energia de rupere, KV <sup>2)</sup><br>- pe epruvete longitudinale<br>- pe epruvete transversale      | x <sup>3)</sup><br>x   | -<br>x <sup>4)</sup>              |
| 6        | Reziliența, KCU 300/3, pe epruvete transversale<br>- în stare de livrare<br>- în stare îmbătrânită    | -<br>-                 | x<br>x                            |
| 7        | Unghiul de îndoire pe dorn                                                                            | x                      | -                                 |
| 8        | Unghiul de fisurare la încercare de îndoire a probei, încărcată longitudinal cu sudură                | -                      | x                                 |
| 9        | Control ultrasonic, conform prescripțiilor tehnice CR 36- Colecția ISCIR, clasa: M3S3<br>M2S2<br>M1S1 | x<br>-<br>-            | -<br>x<br>x                       |

Observații:

Dacă nu se specifică în contract, verificările curente se fac după cum urmează:

- 1) limita de curgere la cald la  $+ 400^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) energia de rupere, KV, longitudinal, la  $- 50^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) energia de rupere, KV, transversal, la  $+ 20^{\circ}\text{C}$ , în cazul în care nu se cere și la temperaturi negative;
- 4) la temperaturi negative.

Valorile garantate ale oțelurilor din această grupă pentru caracteristicile mecanice de tracțiune și de îndoire pe dorn la temperatura ambiantă de  $+ 20^{\circ}\text{C}$  sînt redată în tabelul 5.20, iar cele ale limitei de curgere la temperaturi cuprinse între  $+ 100^{\circ}\text{C}$  și  $+ 400^{\circ}\text{C}$  în tabe -



lul 5.21. Aceste valori garantate ale proprietăților mecanice și tehnologice sînt determinate pe epruvete plate avînd grosimea produsului livrat și fiind prelevate transversal direcției de laminare.

În ceea ce privește valorile garantate ale caracteristicilor de tenacitate, acestea sînt prezentate în tabelul 5.22. Aceste valori reprezintă media a trei încercări în cadrul cărora se admite o singură valoare individuală sub medie, dar nu mai mică de 75% din valoarea medie garantată.

În cazul tablelor cu grosimea între 6 și 12 mm, cînd energia de rupere, KV, se determină pe epruvete cu lățimea de 7,5 mm și 5 mm, valorile energiei de rupere se reduc în proporția 5/6 și respectiv 2/3.

#### 5.1.2.3. Oțeluri pentru recipiente și aparate care lucrează în condiții de frig industrial

Oțelurile din această grupă sînt oțeluri aliate cu nichel, destinate a fi utilizate în condiții de frig industrial, adică la temperaturi situate sub  $-50^{\circ}\text{C}$ . Pe plan mondial s-au dezvoltat și s-au impus următoarele oțeluri pentru utilizări în condiții de frig industrial:

| <u>Temperatura</u>                                   | <u>Tipul oțelului</u>                                   |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $-50^{\circ}\text{C} > T \geq -60^{\circ}\text{C}$   | oțeluri cu 0,5% Ni                                      |
| $-60^{\circ}\text{C} > T \geq -80^{\circ}\text{C}$   | oțeluri cu 1,5% Ni                                      |
| $-80^{\circ}\text{C} > T \geq -100^{\circ}\text{C}$  | oțeluri cu 3,5% Ni                                      |
| $-100^{\circ}\text{C} > T \geq -120^{\circ}\text{C}$ | oțeluri cu 6% Ni sau<br>oțeluri inoxidabile austenitice |
| $-120^{\circ}\text{C} > T \geq -196^{\circ}\text{C}$ | oțeluri cu 9% Ni sau<br>oțeluri inoxidabile austenitice |

În cadrul tipizării, la noi în țară s-a reținut pentru utilizările în condiții de frig industrial o singură marcă de oțel, 10Ni35, care alături de oțelurile inoxidabile austenitice și oțelurile din grupa R acoperă întreg domeniul de utilizări. Condițiile tehnice de calitate ale mărcii de oțel tipizate, 10Ni35, sînt prescrise prin STAS 10382, din care în tabelul 5.23 se redau caracteristicile mecanice ce se garantează pe epruvete tratate termic.



TABELUL 5.20

| Marca<br>oțelului | Limita de curgere, $R_{po,2}$ , N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> ), min. |                  |                  |                  | Rezistența<br>la rupere,<br>$R_m$ , N/mm <sup>2</sup><br>(kgf/mm <sup>2</sup> )<br>min. | Alungirea<br>la rupere<br>$A_5$ , %<br>min. | Diametrul<br>dornului la<br>încercarea<br>de îndoire<br>la 180° |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                   | $6 < a \leq 16$                                                                | $16 < a \leq 35$ | $35 < a \leq 50$ | $50 < a \leq 70$ |                                                                                         |                                             |                                                                 |
| 09 Mn 16          | 300(31)                                                                        | 294(30)          | -                | -                | 440(45)                                                                                 | 20                                          | 3a                                                              |
| 09 MnSi 16        | 324(33)                                                                        | 304(31)          | 284(29)          | 275(28)          | 440(45)                                                                                 | 21                                          | 3a                                                              |
| RV 52             |                                                                                | 350(36)          | 340(35)          | 320(33)          | 510...610<br>(52...62)                                                                  | 20                                          | 3a                                                              |
| R 55              | $a \leq 16$<br>420(43)                                                         | 410(42)          | Nu se produce    |                  | 540...680<br>(55...69)                                                                  | 17                                          | 3,5a                                                            |
| R 58              | $a \leq 16$<br>460(47)                                                         | 450(46)          |                  |                  | 570...730<br>(58...74)                                                                  | 17                                          | 4,0a                                                            |

TABELUL 5.21

| Marca<br>oțelului | Limita de curgere, $R_{po,2}$ N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> ) min. |         |         |         |         |         |         |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                   | + 100°C                                                                     | + 150°C | + 200°C | + 250°C | + 300°C | + 350°C | + 400°C |
| RV 52 $a \leq 35$ | 300(31)                                                                     | 280(29) | 250(26) | 240(24) | 210(21) | 200(20) | 170(17) |
| $35 < a \leq 70$  | 290(30)                                                                     | 270(27) |         |         |         |         |         |
| R 55              | 350(36)                                                                     | 330(34) | 310(32) | 280(28) | 260(27) | 240(24) | 210(21) |
| R 58              | 390(40)                                                                     | 360(37) | 340(35) | 310(32) | 290(30) | 260(27) | 240(24) |



TABELUL 5.22

| Marca<br>oțelului | Caracteristica<br>de tenacitate<br>garantată              | Direcția<br>de pre-<br>luare a<br>epruve-<br>tei | Valorile minime la temperatura, °C |         |         |         |         |         |                       |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|
|                   |                                                           |                                                  | + 20                               | + 0     | - 20    | - 30    | - 40    | - 50    | -60                   |
| 09Mn16            | KCU 2 J/cm <sup>2</sup><br>(kgf. m/<br>cm <sup>2</sup> )  | T                                                | -                                  | -       | -       | -       | 30(3,0) | -       | -                     |
| 09MnSi16          |                                                           |                                                  | 60(6,0)                            | -       | -       | -       | 35(3,5) | -       | 30(3,0) <sup>x)</sup> |
| RV 52             | KV J(kgf. m)                                              | L                                                | 63(6,4)                            | 55(5,6) | 47(4,8) | 39(4,0) | 31(3,2) | -       | -                     |
|                   |                                                           | T                                                | 39(4,0)                            | 31(3,2) | 27(2,8) | 27(2,8) | -       | -       | -                     |
|                   | KCU 3 J/cm <sup>2</sup><br>(kgf. m/cm <sup>2</sup> )      | T                                                | 64(6,5)                            | 64(6,5) | 54(5,5) | 49(5,0) | 44(4,5) | 39(4,0) | 34(3,5)               |
|                   | KCU 3 J/cm <sup>2</sup><br>îmb. (kgf. m/cm <sup>2</sup> ) | T                                                | 44(4,5)                            | -       | -       | -       | -       | -       | -                     |
|                   | KV J(kgf. m)                                              | L                                                | 54(5,5)                            | 47(4,8) | 39(4,0) | 35(3,6) | 31(3,2) | 27(2,8) | -                     |
| T                 |                                                           | 39(4,0)                                          | 31(3,2)                            | 27(2,8) | -       | -       | -       | -       |                       |
| R 55 și<br>R 58   | KCU 3 J/cm <sup>2</sup><br>(kgf. m/cm <sup>2</sup> )      | T                                                | 64(6,5)                            | 59(6,0) | 49(5,0) | 44(4,5) | 39(4,0) | 34(3,5) | 34(3,5)               |
|                   | KCU 3 J/cm <sup>2</sup><br>îmb. (kgf. m/cm <sup>2</sup> ) | T                                                | 59(4,5)                            | -       | -       | -       | -       | -       | -                     |

Observații:

x) la temperatura de  $-70^{\circ}C$



TABELUL 5.23

| Tratamentul termic aplicat | Caracteristici garantate la temperatura de + 20°C                                         |                                                                                |                                              | Caracteristici garantate la temperaturi scăzute |                                                                              |                                       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                            | Rezistența de rupere la tracțiune $R_m$<br>(N/mm <sup>2</sup> )<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | Limita de curgere $R_{p0,2}$<br>(N/mm <sup>2</sup> )<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | Alungirea relativă $A_{5,65}$<br>(%)<br>min. | Temperatura de încercare $^{\circ}C$            | Energia de rupere, KV<br>$J(kgf. m)/min.$<br>Valoarea medie pe trei epruvete | Valoarea minimă pe o singură epruvetă |

Marca de oțel: 10Ni35

|                                    |                        |             |    |      |             |             |
|------------------------------------|------------------------|-------------|----|------|-------------|-------------|
| Normalizat sau normlizat și revent | 440...640<br>(45...65) | 340<br>(35) | 20 | -100 | 28<br>(2,8) | 21<br>(2,1) |
|------------------------------------|------------------------|-------------|----|------|-------------|-------------|

5.1.3. Oțelurile pentru cazane și aparate sub presiune care lucrează la temperaturi ridicate

Oțelurile din această familie, destinate confecționării de cazane și aparate sub presiune care lucrează la temperaturi ridicate, sînt grupate în standardul de stat 2883/3. Ele se utilizează la temperaturi cuprinse între 200 și cca 540°C; la aceste temperaturi, utilizarea esențială o constituie construcția de cazane și schimbătoare de căldură.

Oțelurile carbon pot fi, de regulă, utilizate cu succes pînă la temperaturi situate în jur de 400°C, atît timp cît fenomenul de fluaj practic nu se manifestă. Peste 400°C, cînd fenomenul de fluaj devine determinant, se utilizează oțelurile aliate cu Mo sau Cr-Mo.

Standardul de stat 2883/3 a reținut 5 mărci de oțeluri din această familie, ale căror domenii de utilizare și forme de livrare, conform Decretului nr. 99 al Consiliului de Stat referitor la tipizarea mărcilor și produselor din oțel, sînt redată în tabelul 5.24.



TABELUL 5.24

| Marca<br>oțelului | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                               | Formele de<br>livrare                                                                                                           |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| K 41              | Recipiente și aparate sub presiune care lucrează la temperaturi relativ ridicate până la 400°C                                                                                  | Produse plate laminate la cald                                                                                                  |
| K 47              | Recipiente și aparate sub presiune care lucrează la temperaturi ridicate până la 400°C                                                                                          | Produse plate laminate la cald                                                                                                  |
| K 52              |                                                                                                                                                                                 | Semifabricate pentru forjare.<br>Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald                                     |
| 16Mo3             | Cazane energetice, recipiente sub presiune, schimbătoare de căldură, structuri portante și părți de instalații ce lucrează la temperaturi ridicate, cuprinse între 400 și 480°C | Produse plate laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Produse tubulare<br>Profile laminate la cald |
| 14CrMo4           | Cazane energetice, recipiente sub presiune, schimbătoare de căldură, structuri portante și părți de instalații ce lucrează la temperaturi ridicate, cuprinse între 450 și 540°C | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Produse tubulare                  |

Aceste mărci figurează în toate documentele normative de standardizare din țările industrializate (S.U.A., Marea Britanie, R.F.G. Franța, Italia, U.R.S.S. etc.). Elaborate în vederea unei utilizări deosebite pentru a oferi o securitate deplină, tablele realizate din aceste oțeluri trebuie să fie supuse unor controale foarte stricte.

Standardul 2883/3 descrie aceste mărci cu multă precizie atât în ceea ce privește compoziția chimică (v. cap. 2), cât și caracteristicile mecanice, în mod deosebit caracteristicile la cald, inclusiv cele



TABELUL 5.25

| Marca<br>oțelului              | Caracteristici mecanice la tracțiune                      |                                                     |                                                                                        |                                                                                         |    | Indolirea<br>la rece<br>la 180°<br>pe dorn<br>cu dia-<br>metrul<br>d | Reziliența<br>KCU 300/2<br>la +20°C,<br>pe epruve-<br>te trans-<br>versale,<br>J/cm <sup>2</sup><br>(kgf. m/<br>cm <sup>2</sup> )<br>min. | Energia de ru-<br>pere, KV<br>J(kgf. m)<br>min.<br>la ± 0°C la -20°C |          |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------|
|                                | Limita de curgere, R <sub>e</sub> , R <sub>p0,2</sub> sau |                                                     | Rezistența<br>la rupere,<br>R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup><br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | Alungirea<br>la rupere,<br>A pentru<br>L <sub>0</sub> =5,65√S <sub>0</sub><br>%<br>min. |    |                                                                      |                                                                                                                                           |                                                                      |          |
|                                | R <sub>eh</sub>                                           | N/mm <sup>2</sup><br>(kgf/mm <sup>2</sup> )<br>min. |                                                                                        |                                                                                         |    |                                                                      |                                                                                                                                           |                                                                      |          |
| pentru table cu grosimea a, mm |                                                           |                                                     |                                                                                        |                                                                                         |    |                                                                      |                                                                                                                                           |                                                                      |          |
|                                | a ≤ 16                                                    | 16 < a ≤ 40                                         | 40 < a ≤ 60                                                                            | -                                                                                       | -  | -                                                                    | a ≤ 60                                                                                                                                    | -                                                                    | -        |
| K 41                           | 225<br>(26)                                               | 245<br>(25)                                         | 225<br>(23)                                                                            | 400...490<br>(41...50)                                                                  | 22 | 2a                                                                   | 69(7)                                                                                                                                     | -                                                                    | -        |
| K 47                           | 285<br>(29)                                               | 275<br>(28)                                         | 265<br>(27)                                                                            | 460...550<br>(47...56)                                                                  | 20 | 3a                                                                   | 59(6)                                                                                                                                     | -                                                                    | -        |
| K 52                           | 325<br>(33)                                               | 315<br>(32)                                         | 295<br>(30)                                                                            | 510...610<br>(52...62)                                                                  | 19 | 3, 5a                                                                | 59(6)                                                                                                                                     | -                                                                    | -        |
| 16 Mo 3                        | 275<br>(28)                                               | 265<br>(27)                                         | 255<br>(26)                                                                            | 430...520<br>(44...53)                                                                  | 19 | 3a                                                                   | 69(7)                                                                                                                                     | 27(2, 8)                                                             | -        |
| 14CrMo4                        | 305<br>(31)                                               | 295<br>(30)                                         | 285<br>(29)                                                                            | 430...550<br>(44...56)                                                                  | 18 | 3a                                                                   | 69(7)                                                                                                                                     | 27(2, 8)                                                             | 27(2, 8) |

**Observații:**

1. Se determină numai una din caracteristicile menționate; la table cu grosimi peste 60 mm până la 100 mm, valorile minime ale limitelor de curgere se reduc cu 1% pentru fiecare 5 mm grosime în plus, iar la cele peste 100 mm - pe bază de înțelegere.
2. Pentru table cu grosimi peste 60 mm până la 100 mm inclusiv, valorile rezilienței sînt cu 10 J/cm<sup>2</sup> (1 kgf. m/cm<sup>2</sup>) mai mici decît cele date în tabel; pentru table cu grosimi peste 100 mm valorile rezilienței se stabilesc de comun acord, dar nu vor fi sub 49 J/cm<sup>2</sup> (5 kgf. m/cm<sup>2</sup>) pentru marca K 41 și de 39 J/cm<sup>2</sup> (4 kgf. m/cm<sup>2</sup>) pentru celelalte mărci.



TABELUL 5.26

| Marca<br>oțelului | Pentru<br>table cu<br>grosimea<br>$a$<br>mm | Limita de curgere $R_{po,2}$ în $N/mm^2$ ( $kgf/mm^2$ ), min. la: |         |         |         |         |         |         |
|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                   |                                             | 200°C                                                             | 250°C   | 300°C   | 350°C   | 400°C   | 450°C   | 500°C   |
| K 41              | $a \leq 16$                                 | 205(21)                                                           | 183(19) |         | 142(15) | 138(14) | 136(14) |         |
|                   | $16 < a \leq 40$                            | 198(20)                                                           | 171(18) | 158(16) |         | 127(13) | 117(12) | -       |
|                   | $40 < a \leq 60$                            | 188(19)                                                           | 168(17) |         | 138(14) | 117(12) | 98(10)  |         |
| K 47              | $a \leq 16$                                 | 245(25)                                                           | 227(23) | 205(21) | 171(18) |         | 158(16) |         |
|                   | $16 < a \leq 40$                            | 220(23)                                                           | 200(21) | 183(19) | 168(17) | 158(16) | 142(15) | -       |
|                   | $40 < a \leq 60$                            | 215(22)                                                           | 194(20) | 176(18) |         |         | 136(14) |         |
| K 52              | $a \leq 16$                                 | 265(27)                                                           | 245(25) | 227(23) | 203(21) |         | 172(18) |         |
|                   | $16 < a \leq 40$                            | 245(25)                                                           | 227(23) | 205(21) | 193(20) | 177(18) | 168(17) | -       |
|                   | $40 < a \leq 60$                            | 227(23)                                                           | 215(22) | 192(20) | 183(19) |         | 158(16) |         |
| 16Mo3             | $a \leq 16$                                 | 245(25)                                                           | 227(23) | 198(20) | 176(18) |         | 162(17) | 158(16) |
|                   | $16 < a \leq 40$                            | 235(24)                                                           | 215(22) | 183(19) |         | 166(17) |         | 142(15) |
|                   | $40 < a \leq 60$                            | 220(23)                                                           | 205(21) | 176(18) | 168(17) |         | 158(16) | 136(14) |
| 14CrMo4           | $a \leq 16$                                 | 275(28)                                                           | 255(26) | 237(24) | 216(22) | 203(21) |         | 188(19) |
|                   | $16 < a \leq 40$                            | 265(27)                                                           | 245(25) | 227(23) |         |         | 199(20) |         |
|                   | $40 < a \leq 60$                            | 255(26)                                                           | 237(24) | 215(22) | 203(21) | 199(20) |         | 172(18) |

**Observații:**

1. Pentru temperaturi intermediare, valorile limitei de curgere la cald se stabilesc prin interpolare.
2. Pentru grosimi peste 60 mm până la 100 mm, inclusiv, valorile limitei de curgere la cald se reduc cu 1% pentru fiecare 5 mm de grosime în plus, iar pentru cele peste 100 mm se stabilesc la înțelegere între părți.
3. În funcție de grupa de grosimi se recomandă ca la temperaturi de lucru până la + 300°C, inclusiv, să se utilizeze și mărcile din STAS 28883/2, după cum urmează:
  - marca R 44 - 3b în locul mărcii K 41 și
  - marca R 52 - 3b în locul mărcilor K 47 și K 52



de fluaj. Acest standard trebuie citit și studiat în ansamblul său. Redăm din el tabelul 5.25 în care sînt înscrise valorile garantate ale caracteristicilor mecanice și tehnologice la temperatura ambiantă și tabelul 5.26 cu valorile garantate ale limitei de curgere la cald.

Menționăm, în sfîrșit, că cele două mărci de oțel care conțin molibden, au o bună comportare la cald. De asemenea, că toate cele cinci mărci au conținutul de carbon relativ scăzut, ceea ce le asigură o bună sudabilitate, cu tot conținutul ridicat în elemente de aliere și o absență a riscului de denaturare și fragilitate, în ciuda șocurilor terrice pe care le vor suferi în exploatare aparatele confecționate din aceste oțeluri.

Toate tablele laminate din oțeluri din această familie sînt tratate termic de producător, înaintea livrării.

Valorile medii informative de calcul ale rezistențelor tehnice de durată (fluaj) sînt date în tabelul 5.27; pentru marca de oțel 14CrMo4-4b, caracteristicile de fluaj sînt cu 15% mai mici decît cele specificate în tabel.

Garanțiile de calitate pentru fiecare clasă sînt cele din tabelul 5.28.

TABELUL 5.27

| Marca<br>oțelului | Temperatura<br>°C | Rezistența termică de durată                            |                                                          |
|-------------------|-------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                   |                   | Rr/10 000 h<br>N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Rr/100 000 h<br>N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> ) |
| K 41              | 380               | 229(23, 3)                                              | 165(16, 8)                                               |
|                   | 390               | 211(21, 5)                                              | 148(15, 1)                                               |
|                   | 400               | 191(19, 5)                                              | 132(13, 5)                                               |
|                   | 410               | 173(17, 6)                                              | 118(12, 0)                                               |
|                   | 420               | 158(16, 1)                                              | 103(10, 5)                                               |
|                   | 430               | 142(14, 5)                                              | 91( 9, 3)                                                |
|                   | 440               | 127(12, 9)                                              | 79( 8, 1)                                                |
|                   | 450               | 113(11, 5)                                              | 69( 7, 0)                                                |
|                   | 460               | 100(10, 2)                                              | 59( 6, 0)                                                |
|                   | 470               | 86( 8, 8)                                               | 50( 5, 1)                                                |
|                   | 480               | 74( 7, 5)                                               | 42( 4, 3)                                                |
|                   | 490               | 64( 6, 5)                                               | 35( 3, 6)                                                |
|                   | 500               | 54( 5, 5)                                               | 29( 3, 0)                                                |
| K 47              | 380               | 279(28, 4)                                              | 211(21, 5)                                               |
|                   | 390               | 254(25, 9)                                              | 182(18, 6)                                               |



TABELUL 5.27 (continuare)

| Marca<br>oțelului | Temperatura<br>°C | Rezistența termică de durată                             |                                                          |
|-------------------|-------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                   |                   | Rr/ 10 000 h<br>N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Rr/100 000 h<br>N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> ) |
| K 47              | 400               | 229(23,3)                                                | 157(16,0)                                                |
|                   | 410               | 206(21,0)                                                | 135(13,8)                                                |
|                   | 420               | 183(18,7)                                                | 117(11,9)                                                |
|                   | 430               | 163(16,6)                                                | 100(10,2)                                                |
|                   | 440               | 145(14,8)                                                | 85( 8,7)                                                 |
|                   | 450               | 127(12,9)                                                | 73( 7,4)                                                 |
|                   | 460               | 113(11,5)                                                | 62( 6,3)                                                 |
|                   | 470               | 100(10,2)                                                | 53( 5,4)                                                 |
|                   | 480               | 88( 9,0)                                                 | 47( 4,8)                                                 |
|                   | 490               | 78( 8,0)                                                 | 46( 4,7)                                                 |
|                   | 500               | 71( 7,2)                                                 | 39( 4,0)                                                 |
| K 52              | 380               | 293(29,9)                                                | 221(22,5)                                                |
|                   | 390               | 270(27,5)                                                | 198(20,2)                                                |
|                   | 400               | 247(25,2)                                                | 176(17,9)                                                |
|                   | 410               | 226(23,0)                                                | 154(15,7)                                                |
|                   | 420               | 204(20,8)                                                | 134(13,7)                                                |
|                   | 430               | 182(18,6)                                                | 117(11,9)                                                |
|                   | 440               | 162(16,5)                                                | 102(10,4)                                                |
|                   | 450               | 143(14,6)                                                | 87( 8,9)                                                 |
|                   | 460               | 127(12,9)                                                | 75( 7,6)                                                 |
|                   | 470               | 111(11,3)                                                | 63( 6,4)                                                 |
|                   | 480               | 97( 9,9)                                                 | 53( 5,4)                                                 |
| 16 Mo 3           | 490               | 84( 8,6)                                                 | 46( 4,7)                                                 |
|                   | 500               | 74( 7,5)                                                 | 39( 4,0)                                                 |
|                   | 450               | 304(31,0)                                                | 245(25,0)                                                |
|                   | 460               | 277(28,2)                                                | 209(21,3)                                                |
|                   | 470               | 253(25,8)                                                | 173(17,6)                                                |
|                   | 480               | 227(23,1)                                                | 143(14,6)                                                |
|                   | 490               | 202(20,6)                                                | 116(11,8)                                                |
|                   | 500               | 176(17,9)                                                | 93( 9,5)                                                 |
|                   | 510               | 150(15,3)                                                | 73( 7,4)                                                 |
|                   | 520               | 126(12,8)                                                | 59( 6,0)                                                 |
|                   | 530               | 105(10,7)                                                | 47( 4,8)                                                 |
|                   | (540)             | 86( 8,8)                                                 | 38( 3,9)                                                 |
|                   | (550)             | 70( 7,1)                                                 | 31( 3,2)                                                 |



TABELUL 5.27 (continuare)

| Marca<br>oțelului | Temperatura<br>°C | Rezistența termică de durată                            |                                                          |
|-------------------|-------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                   |                   | Rr/10 000 h<br>N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Rr/100 000 h<br>N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> ) |
| 14CrMo4           | 450               | 362(36,9)                                               | 284(29,0)                                                |
|                   | 460               | 337(34,3)                                               | 251(25,6)                                                |
|                   | 470               | 310(31,6)                                               | 219(22,3)                                                |
|                   | 480               | 284(29,0)                                               | 190(19,4)                                                |
|                   | 490               | 257(26,2)                                               | 163(16,6)                                                |
|                   | 500               | 230(23,4)                                               | 137(14,0)                                                |
|                   | 510               | 201(20,5)                                               | 116(11,8)                                                |
|                   | 520               | 172(17,5)                                               | 94(9,6)                                                  |
|                   | 530               | 147(15,0)                                               | 77(7,8)                                                  |
|                   | 540               | 124(12,6)                                               | 61(6,2)                                                  |
|                   | 550               | 103(10,5)                                               | 49(5,0)                                                  |
|                   | 560               | 86(8,8)                                                 | 40(4,1)                                                  |
|                   | (570)             | 72(7,3)                                                 | 33(3,4)                                                  |

## Observație:

La temperaturile înscrise între paranteze nu se recomandă utilizarea oțelurilor respective.

TABELUL 5.28

| Nr. crt. | Caracteristica garantată                                                 | Clase de calitate |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          |                                                                          | 2b                | 3b | 4a | 4b | 5a | 5b | 6a | 6b | 7a | 7b |
| 1        | Compoziția chimică pe oțel lichid                                        | x                 | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  |
| 2        | Caracteristicile mecanice de tracțiune la +20°C                          | x                 | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  |
| 3        | Unghiul de îndoire la rece pe dorn                                       | x                 | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  |
| 4        | Reziliența, KCU 300/2, pe direcția transversală, la temperatura de +20°C | x                 | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  | x  |



TABELUL 5.28. (continuare)

| Nr. crt. | Caracteristica garantată                                                                                                                                                                             | Clase de calitate |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          |                                                                                                                                                                                                      | 2b                | 3b | 4a | 4b | 5a | 5b | 6a | 6b | 7a | 7b |
| 5        | Energia de rupere, KV, pe direcția longitudinală, la temperatura de: $\pm 0^{\circ}\text{C}$<br>$- 20^{\circ}\text{C}$<br>$- 30^{\circ}\text{C}$<br>$- 40^{\circ}\text{C}$<br>$- 50^{\circ}\text{C}$ |                   | x  |    | x  |    | x  |    | x  |    |    |
|          |                                                                                                                                                                                                      |                   |    | x  | x  |    |    |    |    |    |    |
|          |                                                                                                                                                                                                      |                   |    |    |    | x  | x  |    |    |    |    |
|          |                                                                                                                                                                                                      |                   |    |    |    |    |    | x  | x  |    |    |
|          |                                                                                                                                                                                                      |                   |    |    |    |    |    |    |    | x  | x  |
| 6        | Limita de curgere la cald                                                                                                                                                                            | x                 | x  |    | x  |    | x  |    | x  |    | x  |

**Observații:**

La cererea beneficiarului, pentru clasa de calitate 7a, se poate garanta reziliența pe direcția transversală KCU 300/2 la temperatura de  $- 60^{\circ}\text{C}$ .

### 5.2. Oțelurile pentru organe și alte elemente componente de mașini

Mărcile de oțel și produsele metalurgice destinate, în principal, realizării acestei categorii mari de construcții tehnice sînt prezentate grupat în următoarele categorii:

- oțeluri de uz general (utilizate, de regulă, în stare ne-tratată termic);
- oțeluri carbon de calitate și aliate pentru piese tratate termic.

#### 5.2.1. Oțeluri carbon de uz general

La realizarea construcțiilor mecanice, oțelurile carbon de uz general sînt folosite în mod curent, deoarece sub formă de produse finite prezintă proprietăți tehnologice și de utilizare satisfăcătoare pentru marea majoritate a cazurilor și în plus sînt cele mai economice. Mărcile de oțel carbon de uz general folosite pentru construcții mecanice-prezentate în paragraful 2.4.1. - sînt definite prin valoarea minimă a rezistenței la tracțiune, exprimată în  $\text{N/mm}^2$ . În cadrul fiecărei mărci, așa cum s-a arătat în tabelul 2.8, sînt diferențiate un număr de clase de calitate care, prezentînd aceleași intervale de rezis -



tență la tracțiune, oferă garanții suplimentare referitoare la prevenirea ruperii fragile sau pentru alte condiții deosebite de utilizare. Condițiile tehnice de livrare sînt prescrise în STAS 500, iar principalele domenii de utilizare și produsele livrabile sînt prezentate în tabelul 5.29.

Oțelurile carbon de uz general nu sînt supuse, de regulă, în cursul procesului de prelucrare la beneficiar vreunui tratament termic și, ca urmare, tehnologia aplicată de furnizorul de metal are o importanță deosebită. Caracteristicile mecanice standardizate ale oțelurilor carbon de uz general, livrate în stare laminată la cald, sînt indicate în tabelul 5.30 și se referă la valori determinate prin încercări efectuate pe epruvete preluate din zona apropiată de suprafață. O categorie aparte o constituie produsele cu grad avansat de prelucrare, obținute prin operații efectuate la rece. Aceste operații se pot împărți în:

- operații de prelucrare mecanică superficială cu îndepărtare de particule, care nu determină modificarea importantă a valorilor caracteristicilor mecanice ale oțelului și care urmăresc să asigure o mai bună calitate a stării suprafeței (cojire, rectificare, șlefuire ș.a.);

- operații de prelucrare prin deformare plastică la rece cu modificarea, în consecință, a caracteristicilor mecanice ale semifabricatului (tragere, trefilare, laminare la rece, profilare ș.a.); produsele obținute, în aceste condiții, sînt produse ecruisate.

În urma prelucrării prin deformare la rece se produce o creștere a limitei de curgere, a rezistenței la tracțiune și a durității. În același timp, caracteristicile de plasticitate (alungirea și gîtuirea) și reziliența se reduc în mod corespunzător. Barele deformate la rece se obțin prin tragere. Ecruisarea materialului prin tragere este destul de omogenă în secțiune, diferența dintre duritatea la suprafață și din miezul barei nefiind mai mare de aproximativ 10 unități HB, respectiv diferența de rezistență de aproximativ 30 N/mm<sup>2</sup>. În fig. 5.3 se arată variația caracteristicilor mecanice, în funcție de gradul nominal de reducere la tragere, pentru oțelul cu sensibilitate redusă la îmbătrînire (oțeluri calmate). Gradul de reducere (%) =  $\frac{S - s}{s} \times 100$ , unde  $S$  - aria secțiunii transversale inițiale, iar  $s$  - aria secțiunii transversale după tragere.

În tabelul 5.31 se prezintă caracteristicile mecanice ale oțelurilor carbon de uz general livrate în stare trasă (T), cojit tras (CT) tras șlefuit (TS), tras recopt (TR), tras recopt șlefuit (TRS) și cojit șlefuit (CS).



| Marca de oțel | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                  | Formele de livrare                                                                                                                                                      |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OL 30         | Elemente de construcții mecanice de uz general, supuse la solicitări foarte mici, ca: rondelle, cule, capace, nituri, collere de strângere etc.                                    | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Sîrme laminate și trase                                                                                   |
| OL 32         | Elemente de construcții mecanice de uz general, supuse la solicitări moderate, ca: suportți, rame, carcase și capace, tiranți, armături, piese ambutisate la cald și la rece       | Produse plate<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Profile formate la rece<br>Sîrme laminate și trase<br>Produse tubulare<br>Produse de sîrmă |
| OL 34         | Elemente de structuri portante de mașini agricole, tiranți, suportți, clicheti, organe de asamblare, armături, piese ambutisate la cald și la rece                                 | Produse plate<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Sîrme laminate și trase<br>Produse tubulare<br>Produse de sîrmă                            |
| OL 42         | Organe și alte elemente componente de mașini și utilaje, supuse la solicitări moderate, ca: bieles, manivele, axe și arbori, roți dințate, piese canelate și filetate, flanșe etc. | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sîrme laminate și trase<br>Produse tubulare              |



TABELUL 5.29 (continuare)

| Marca de oțel | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                             | Formele de livrare                                                                                                                     |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OL 50         | Elemente de construcții mecanice, supuse la solicitări mecanice ridicate, ca: bare de tracțiune, arbori drepti și cotiți, arbori pentru pompe și turbine, volanți, roți dințate pentru viteze periferice mici | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase |
| OL 60         | Elemente de construcții mecanice, supuse unor solicitări mecanice ridicate, ca: arbori drepti și cotiți, roți dințate pentru viteze periferice moderate, pene                                                 | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase |
| OL 70         | Organe de mașini, supuse la uzură, ca: arbori canelați, pene, cuplaje, roți dințate, melci pentru transport, fusuri pentru prese, cule de centrare, roți de lanț                                              | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase |



TABELUL 5.50

| Marca<br>de<br>oțel | Limita de curgere,<br>R <sub>po,2</sub> min.<br>N/mm <sup>2</sup> |       |        | Rezistența la trac-<br>țiune, R <sub>m</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | Alungirea<br>A <sub>5</sub> , min.<br>% |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                     | Grosimea produsului, mm                                           |       |        |                                                                   |                                         |
|                     | max.16                                                            | 16-40 | 40-100 | max.100                                                           | max.100                                 |
| OL 30               | -                                                                 | -     | -      | min. 310                                                          | 20                                      |
| OL 32               | 180                                                               | 170   | 160    | 310-390                                                           | 33                                      |
| OL 34               | 210                                                               | 200   | 190    | 330-410                                                           | 31                                      |
| OL 42               | 260                                                               | 250   | 230    | 410-490                                                           | 22                                      |
| OL 50               | 290                                                               | 280   | 270    | 490-610                                                           | 21                                      |
| OL 60               | 330                                                               | 320   | 310    | 590-710                                                           | 16                                      |
| OL 70               | 360                                                               | 350   | 340    | min. 690                                                          | 11                                      |

## Observații:

Energia de rupere la încovoierea prin șoc se garantează diferențiat pe clase de calitate, astfel: clasa de calitate 2 la temperatura de  $+20^{\circ}C$ ; clasa de calitate 3 la temperatura de  $\pm 0^{\circ}C$  și clasa de calitate 4 la temperatura de  $-20^{\circ}C$ . Pentru cunoașterea gamei claselor de calitate în care se livrează fiecare marcă de oțel și tip de produs este necesar să se consulte standardele respective.

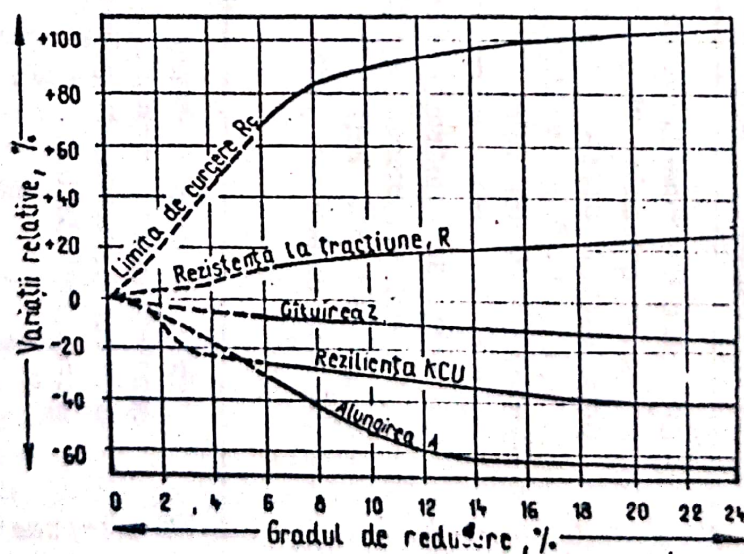


Fig. 5.3. Variația caracteristicilor mecanice, în funcție de gradul nominal de reducere la tragere



TABELUL 5.31

| Marca de oțel | Oțel tras (T), cojit tras (CT) și tras șlefuit (TS) |                                                                   |                                            | Oțel tras recopt (TR), tras recopt șlefuit (TRS) și cojit șlefuit (CS) |                                             |
|---------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|               | Dimensiunea sau grosimea mm                         | Rezistența de rupere la tracțiune, $R_m$ N/mm <sup>2</sup> , min. | Alungirea relativă la rupere $A_5$ %, min. | Rezistența de rupere la tracțiune $R_m$ N/mm <sup>2</sup>              | Alungirea relativă la rupere, $A_5$ %, min. |
| OL 34         | max. 6                                              | 490                                                               | 7                                          | 310 - 440                                                              | 31                                          |
|               | 6 - 10                                              | 460                                                               | 8                                          |                                                                        |                                             |
|               | 11 - 25                                             | 410                                                               | 10                                         |                                                                        |                                             |
|               | 26 - 40                                             | 390                                                               | 11                                         |                                                                        |                                             |
|               | 41 - 80                                             | 360                                                               | 12                                         |                                                                        |                                             |
| OL 37         | max. 6                                              | 510                                                               | 7                                          | 340 - 460                                                              | 25                                          |
|               | 6 - 10                                              | 490                                                               | 8                                          |                                                                        |                                             |
|               | 11 - 25                                             | 440                                                               | 9                                          |                                                                        |                                             |
|               | 26 - 40                                             | 410                                                               | 11                                         |                                                                        |                                             |
|               | 41 - 80                                             | 390                                                               | 12                                         |                                                                        |                                             |
| OL 42         | max. 6                                              | 560                                                               | 6                                          | 360 - 490                                                              | 23                                          |
|               | 6 - 10                                              | 520                                                               | 7                                          |                                                                        |                                             |
|               | 11 - 25                                             | 490                                                               | 7                                          |                                                                        |                                             |
|               | 26 - 40                                             | 470                                                               | 9                                          |                                                                        |                                             |
|               | 41 - 80                                             | 440                                                               | 11                                         |                                                                        |                                             |
| OL 50         | max. 6                                              | 640                                                               | 6                                          | 440 - 590                                                              | 20                                          |
|               | 6 - 10                                              | 590                                                               | 6                                          |                                                                        |                                             |
|               | 11 - 25                                             | 590                                                               | 7                                          |                                                                        |                                             |
|               | 26 - 40                                             | 540                                                               | 8                                          |                                                                        |                                             |
|               | 41 - 80                                             | 520                                                               | 9                                          |                                                                        |                                             |
| OL 60         | max. 6                                              | 740                                                               | 5                                          | 540 - 690                                                              | 15                                          |
|               | 6 - 10                                              | 690                                                               | 6                                          |                                                                        |                                             |
|               | 11 - 25                                             | 690                                                               | 6                                          |                                                                        |                                             |
|               | 26 - 40                                             | 640                                                               | 7                                          |                                                                        |                                             |
|               | 41 - 80                                             | 620                                                               | 8                                          |                                                                        |                                             |



TABELUL 5.31 (continuare)

| Marca de oțel | Oțel tras (T), cojit tras (CT) și tras șlefuit (TS) |                                                                   |                                            | Oțel tras recopt (TR), tras recopt șlefuit (TRS) și cojit șlefuit (CS) |                                            |
|---------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|               | Dimensiunea sau grosimea mm                         | Rezistența de rupere la tracțiune, $R_m$ N/mm <sup>2</sup> , min. | Alungirea relativă la rupere $A_5$ %, min. | Rezistența de rupere la tracțiune $R_m$ N/mm <sup>2</sup>              | Alungirea relativă la rupere $A_5$ %, min. |
| OL 70         | max. 6                                              | 830                                                               | 5                                          | 620 - 830                                                              | 12                                         |
|               | 6 - 10                                              | 780                                                               | 5                                          |                                                                        |                                            |
|               | 11 - 25                                             | 760                                                               | 6                                          |                                                                        |                                            |
|               | 26 - 40                                             | 740                                                               | 6                                          |                                                                        |                                            |
|               | 41 - 80                                             | 720                                                               | 7                                          |                                                                        |                                            |

În cazul organelor de mașini, care lucrează la temperaturi ridicate (max. 300°C), prezintă interes, pentru calculul de dimensionare, limita de curgere la cald a oțelurilor de uz general; valorile informative ale acestei caracteristici sînt date în tabelul 5.32.

TABELUL 5.32

| Marca de oțel | Limita de curgere, N/mm <sup>2</sup> , la temperatura de, °C |     |     |     |     |     |
|---------------|--------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|               | 100                                                          | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| OL 32         | 155                                                          | 150 | 140 | 125 | 120 | 98  |
| OL 34         | 167                                                          | 157 | 146 | 135 | 125 | 115 |
| OL 42         | 225                                                          | 215 | 200 | 185 | 165 | 145 |
| OL 50         | 260                                                          | 225 | 210 | 195 | 175 | 155 |
| OL 60         | 300                                                          | 240 | 220 | 200 | 185 | 165 |
| OL 70         | 325                                                          | 300 | 280 | 260 | 230 | 200 |

### 5.2.2. Oțeluri pentru piese tratate termic

Principalul mijloc de punere în valoare a capacității de rezistență a oțelurilor este tratamentul termic aplicat adecvat compoziției chimice a acestora și tipului de piesă considerat. Comportarea co-



responsabile la tratament termic și, mai ales, reproductibilitatea caracteristicilor obținute în condițiile respectării aceluiași parametri termici (durată, temperatură etc.), se pot realiza numai în cazul unor oțeluri de calitate, cu conținuturi în elemente reziduale și incluziuni nemetalice cât mai reduse, elaborate conform unor tehnologii specifice acestui scop. În general, oțelurile carbon se folosesc la realizarea de piese supuse unor solicitări moderate. Prin aliere crește capacitatea oțelului de a prelua solicitări mari. Compoziția chimică a principalelor mărci de oțel, destinate fabricării de piese tratate termic, au fost prezentate în tabelul 2.9 (oțeluri carbon de calitate) și 2.10 (oțeluri slab aliate și aliate). Condițiile tehnice generale de livrare ale acestor mărci sînt precizate în STAS 7450, iar principalele domenii de utilizare și produsele livrabile sînt prezentate în tabelul 5.33.

Caracteristicile garantate în cazul oțelurilor pentru piese tratate termic au evoluat odată cu progresele din industria siderurgică și tehnica tratamentelor termice. În prezent, pentru a se obține o eficiență economică ridicată în fabricație, în condițiile unei reproductibilități a rezultatelor controlului de calitate și a unei fiabilități corespunzătoare a pieselor, au fost stabilite - prin STAS 7450 - 5 tipuri de livrare, care definesc garanțiile pe care le asigură producătorul în cazul acestor oțeluri (tabelul 5.34). Acest mod de rezolvare, aplicat în prezent pe scară internațională, are la bază următoarele considerații principale:

a. Limitele uzuale ale conținuturilor diferitelor elemente chimice în fiecare marcă de oțel determină, la nivelul tehnologiilor siderurgice actuale, o plajă foarte largă a curbelor de călibilitate, în modul acesta incapabile să satisfacă numeroasele cerințe pe care le ridică fabricația de autoturisme, tractoare, motoare etc. Ca urmare, s-au stabilit benzi de călibilitate mai înguste, care să satisfacă atât cerințele unei fabricații economice în sectorul siderurgic, cât și în construcția de mașini. Ca exemplu, în fig. 5.4 se prezintă banda de călibilitate garantată și banda de călibilitate rezultată prin respectarea prescripțiilor de compoziție chimică, în cazul mărcii 41 MoCr 11.

b. Banda de călibilitate de o lățime tehnologică rezonabilă și obligatoriu de respectat în cazul tratamentelor termice, realizate pe instalații de tratament termic automatizate, necesită limite foarte stricte de compoziție chimică și granulație, neeconomice la o producție de oțel în cantități mari.

c. Experiența dobîndită în utilizarea produselor la care se garantează caracteristicile mecanice este foarte utilă pentru majoritatea situațiilor în care tratamentul se efectuează pe piese individuale



TABELUL 5.33

| Marca de<br>oțel   | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                            | Formele de livrare                                                                                                                                         |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OLC 10<br>(OLC 08) | Piese cementate, cu rezistență redusă în miez, ca:<br>șalbe, clicheti, furci, tije, pene de ghidare, culbu-<br>toare, supape, discuri, eclise, bușe și role pen-<br>tru lanțuri de tracțiune | Produse plate<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Șirme laminate și trase<br>Produse tubulare                                   |
| OLC 15             | Piese cementate, cu rezistență redusă în miez, ca:<br>bolțuri, șuruburi în mișcare, plulițe, pîrghii, chei,<br>pene de ghidare                                                               | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase                     |
| OLC 20             | Piese cementate, cu rezistență redusă în miez, ca:<br>bolțuri, șalbe, bușe, flanșe                                                                                                           | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| OLC 25             | Piese tratate termic, slab sollicitate, ca: axe, bu-<br>loane, manșoane, arbori, flanșe, cîrlige forjate<br>pentru macarale, organe de asamblare                                             | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase<br>Produse tubulare |



TABELUL 5.33 (continuare)

| Marca de oțel                    | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                                             | Formele de livrare                                                                                                                        |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OLC 35<br>(OLC 38)<br>(OLC 38 B) | Piese tratate termic, mediu solicitate, ca: arbori cotiți de dimensiuni mici, bieles, cilindri de prese, bandaje, cîrlige forjate pentru macarale, aparate de reazem la poduri, organe de asamblare                           | Produse plate<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sîrme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| OLC 45<br>(OLC 42)               | Piese tratate termic, de rezistență ridicată și tenacitate medie, ca: discuri de turbină, arbori cotiți, bieles, coroane dințate, roți cu clichet, pene de ghidaj, melci, pene, piese pentru autoturisme, organe de asamblare | Produse plate<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sîrme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| OLC 50                           | Piese tratate termic, puternic solicitate, ca: roți dințate, bandaje, coroane, arbori                                                                                                                                         | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sîrme laminate și trase    |
| OLC 55                           | Piese tratate termic cu rezistență ridicată, dar fără solicitări mari la șoc, ca: pinioane, tije, came, aparate de legare pentru vehicule de cale ferată                                                                      | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Sîrme laminate și trase<br>Oțel calibrat    |



TABELUL 5.33 (continuare)

| Marca de oțel | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                        | Formele de livrare                                                                                                                                         |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OLC 60        | Piese tratate termic, cu elasticitate și proprietăți de rezistență ridicată, ca: excentrice, bandaje, bușe elastice, roți dințate, cârlige de tracțiune pentru vehicule de cale ferată   | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase                     |
| 35 Mn 16      | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărții, ca: axe, arbori, roți, came, lonjeroane, piese sollicitate la torsiune | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| 40 Mn 10      | Profile șenile pentru tractoare, precum și la anumite piese, puțin sollicitate, ca înlocuitor al oțelului 40 Cr 10                                                                       | Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare                                                                                                   |
| 65 Mn 10      | Piese de tăiere și uzură la mașini agricole, piese cu solicitări de contact în condiții de ungere nesatisfăcătoare                                                                       | Produse plate laminate la cald<br>Bare și blocuri forjate                                                                                                  |
| 120 Mn 120    | Elemente de uzură în construcții mecanice                                                                                                                                                | Produse plate<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare                                                                                  |



TABELUL 5.33 (continuare)

| Marca de oțel | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                                   | Formele de livrare                                                                                                                                         |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 18 MnCr 10    | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărcii, ca: bolțuri - pistoane, arbori cu came, roți dințate                                              | Produse plate<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase<br>Produse tubulare                  |
| 26 MnSi 14    | Piese de uzură pentru utilaje miniere                                                                                                                                                                               | Produse plate laminate la cald                                                                                                                             |
| 35 MnSi 12    | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărcii, ca: arbori netezi sau cu caneluri, arbori cotiți, bandaje                                         | Profile laminate la cald<br>Produse plate laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Șirme laminate și trase                                      |
| 15 Cr 08      | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărcii, ca: bolțuri pentru pinioane, culbutori, arbori cu came, axe planetare, bucșe, roți dințate, melci | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| 32 Cr 10      | Piese pentru autoturisme Dacia 1300                                                                                                                                                                                 | Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat                                                                                                                  |



TABELUL 5.33 (continuare)

| Marca de oțel                          | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                                                     | Formele de livrare                                                                                                                                         |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 40 Cr 10<br>(37 Cr 10)<br>(40 B Cr 10) | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mării, ca: roți de antrenare, arbori, tijele de pistoane, discuri de fricțiune, supape de admisie, piese pentru autoturisme | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| 13 CrNi 30                             | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mării, ca: roți dințate, coroane, bolțuri pentru pistoane, axe cu came, organe de asamblare                                 | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase                     |
| 18 CrNi 20                             | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mării, destinate în special pentru pompe de injecție, roți dințate                                                          | Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat                                                                                  |
| 41 CrNi 12                             | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mării, ca: material tubular pentru foraj                                                                                    | Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase<br>Produse tubulare                                   |



TABELUL 5.33 (continuare)

| Marca de oțel | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                   | Formele de livrare                                                                                                                                         |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 21 TiMnCr 12  | Organe de mașini și plese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărcii, ca: roți dințate pentru mașini grele, arbori, arbori cu came      | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| 28 TiMnCr 12  | Organe de mașini și plese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărcii, ca: roți dințate pentru mașini grele, arbori, axe, arbori cu came | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase                     |
| 12 MoCr 10    | Plese pentru autoturisme Dacia 1300                                                                                                                                                 | Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat                                                                                                                  |
| 16 MoCr 10    | Plese pentru autoturisme Dacia 1300                                                                                                                                                 | Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat                                                                                                                  |
| 20 MoCr 10    | Plese pentru autoturisme Dacia 1300                                                                                                                                                 | Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat                                                                                                                  |



TABELUL 5.33 (continuare)

| Marca de oțel                              | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Formele de livrare                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 25 MoCr 10<br>(27 MoCr 10)                 | Piese pentru autoturisme Dacia 1300, organe de asamblare care lucrează la temperaturi de max. 420°C                                                                                                                                                                                                                              | Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat                                                                                                                  |
| 33 MoCr 11<br>(33 MoCr 10)<br>(30 MoCr 11) | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibilitate a mărții, ca: arbori cotiți, axe, fuzete, arbori cu came, biele, roți dințate, organe de asamblare, cîrlige forjate pentru macarale, piese pentru autoturisme, organe de asamblare, piese pentru autoturisme Dacia 1300 | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sîrme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| 41 MoCr 11                                 | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibilitate a mărții, ca: rotori de turbină, arbori pentru motoare cu ardere internă, organe de asamblare                                                                                                                           | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sîrme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| 20 MoNi 18                                 | Prăjini de pompare care lucrează în mediu corosiv                                                                                                                                                                                                                                                                                | Profile laminate la cald                                                                                                                                   |
| 20 MoNi 35<br>(17 MoNi 35)                 | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibilitate a mărții, ca: roți dințate, bolțuri pentru pistoane                                                                                                                                                                     | Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sîrme laminate și trase                                                       |



TABELUL 5.33 (continuare)

| Marca de oțel                  | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                           | Formele de livrare                                                                                                                                         |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 18 MoCrNi 13                   | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărcii, ca: roți dințate, arbori, pene            | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sârme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| 20 MoCrNi 06<br>(22 MoCrNi 05) | Sape de foraj                                                                                                                                               | Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare                                                                                                   |
| 20 MoCrNi 20                   | Organe de asamblare și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărcii, ca: blele, axe, fuzete, angrenaje mari | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sârme laminate și trase                     |
| 34 MoCrNi 15                   | Organe de mașini și piese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărcii, ca: blele, axe, fuzete, angrenaje mari    | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sârme laminate și trase<br>Produse tubulare |



TABELUL 5.33 (continuare)

| Marca de oțel  | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                    | Formele de livrare                                                                                                                                         |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 35 MoCrNi 40   | Piese pentru autoturisme Dacia 1300                                                                                                                                                                  | Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat                                                                                                                  |
| 21 MoMnCr 12   | Organe de mașini și plese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărcii, ca: roți dințate pentru mașini grele, arbori, arbori cu came, lanțuri de tracțiune | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sîrme laminate și trase<br>Produse tubulare |
| 38 MoCrAl 09   | Organe de mașini și plese tratate termic prin nitrurare, cu rezistență bună la uzură, ca: roți dințate, arbori, role, cămăși de cilindru                                                             | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat                                                |
| 34 MoNiCrAl 09 | Axele și broșele mașinilor orizontale grele de a-<br>lezat și frezat, precum și alte plese nitrurate de dimensiuni foarte mari                                                                       | Sîrme laminate și trase<br>Produse tubulare                                                                                                                |
| 50 VCr 11      | Organe de mașini și plese tratate termic, cu adâncime de călire garantată conform curbei de călibritate a mărcii, ca: angrenaje, biețe, came                                                         | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sîrme laminate și trase                     |



TABELUL 5.33 (continuare)

| Marca de oțel              | Principalele domenii de utilizare                                                                                           | Formele de livrare                                                        |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 20 MnB 5                   | Organe de asamblare                                                                                                         | Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat                                 |
| 21 VMoCr 12<br>24 VMoCr 12 | Organe de asamblare, puternic sollicitate în regim de temperaturi ridicate (450-550°C) în industria chimică și petrochimică | Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat |

**Observații:** Mărcile de oțel indicate în paranteză au domenii de utilizare restrânse și se livrează într-o gamă sortotipodimensională redusă față de cea indicată pentru marca de bază. Ca urmare, se recomandă folosirea lor numai în cazuri bine justificate tehnic.



TABELUL 5.34

| Caracteristicile garantate                                                                                          | Tipul de livrare |   |   |   |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---|---|---|---|
|                                                                                                                     | 1                | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Compoziția chimică pe oțel lichid                                                                                   | x                | x | x | x | x |
| Caracteristicile mecanice pe probe de referință <sup>1)</sup><br>tratate termic:                                    |                  |   |   |   |   |
| • călite și revenite                                                                                                |                  |   | x |   |   |
| • normalizate                                                                                                       |                  |   |   |   | x |
| Caracteristicile mecanice pe probe de alt<br>diametru decât cel de referință, în stare<br>călită cu revenire înaltă |                  |   |   | x |   |
| Călibritate                                                                                                         |                  | x |   |   |   |
| Plasticitate sau duritate <sup>2)</sup>                                                                             |                  | x | x | x | x |
| Caracteristicile metalografice (numai pentru<br>oțeluri superloare)                                                 |                  |   |   |   |   |
| - microscopice (mărimea grăuntelui austenitic<br>și conținutul de incluziuni nemetalice)                            |                  | x | x | x | x |
| - macroscopice                                                                                                      |                  | x | x | x | x |

1) Termenul de probă de referință este definit în STAS 7324. Diametrul probei de referință este de 16 mm pentru oțelurile de îmbunătățire, iar pentru oțelurile de cementare 11, 30 și 65 mm.

2) Ca regulă generală se garantează plasticitatea; la cererea beneficiarului, în locul plasticității poate fi garantată duritatea maximă în stare de livrare; în acest caz, la simbolul tipului de livrare se adaugă litera "a".

sau loturi mici, în cuptoare în care parametri de tratament termic se pot modifica în funcție de necesități. În aceste situații, hotărâtoare nu este banda de călibritate, ci modul general de comportare la tratament termic, care determină în final caracteristicile mecanice ale oțelului din piesă.

d. Nu este rațional să se impună două sau mai multe prescripții care conduc la același rezultat final, dar a căror respectare atrage creșterea exagerată a prețului de achiziționare a oțelului.



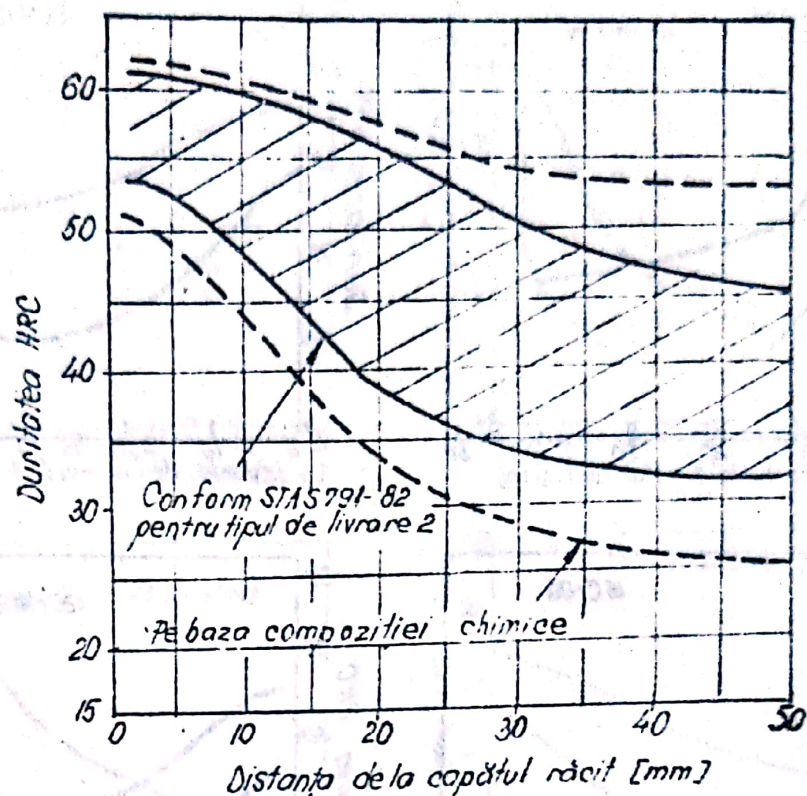


Fig. 5.4. Benzile de călibilitate ale mărcii 41 MoCr 11, garantate conform STAS 791-80, rezultate pe baza compoziției chimice

În funcție de specificul instalațiilor de tratament termic din dotare, se obișnuiește să se aleagă tipul de livrare adecvat, recurgându-se la garanții, fie de călibilitate, fie de caracteristici mecanice. Furnizorul de metal livrează produsele cu călibilitate garantată prin selecție. Benzile de călibilitate ale oțelurilor aliate pentru piese tratate termic sînt redată în fig. 5.5 - 5.7. Călibilitatea se garantează în cazul materialelor furnizate conform tipului 2 de livrare a oțelurilor aliate. Oțelurile carbon au o călibilitate redusă. Pentru informare, în fig. 5.8 se prezintă benzile de călibilitate ale unor oțeluri carbon de calitate. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor carbon de calitate și aliate, determinate pe probe tratate termic, sînt prezentate în tabelul 5.35, care conține și date privind tratamentul termic aplicat.

Proprietățile de rezistență și tenacitate ale oțelurilor pentru piese tratate termic sînt influențate, în măsură hotărîtoare, de călibilitate și de către parametrii tratamentului termic aplicat. Întrucît mărimea secțiunii produsului și configurația sa geometrică determină valoarea parametrilor de răcire în timpul tratamentului termic, varia-



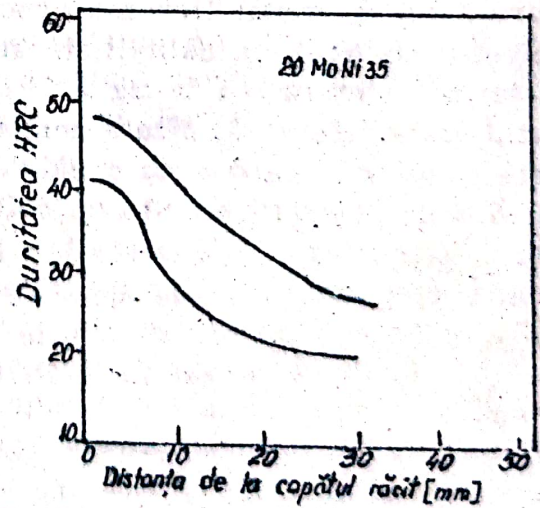
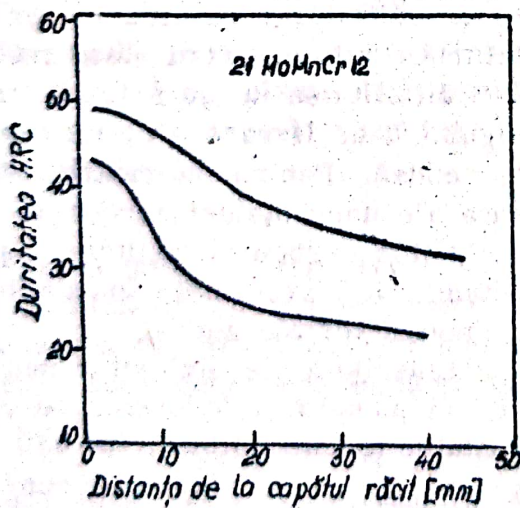
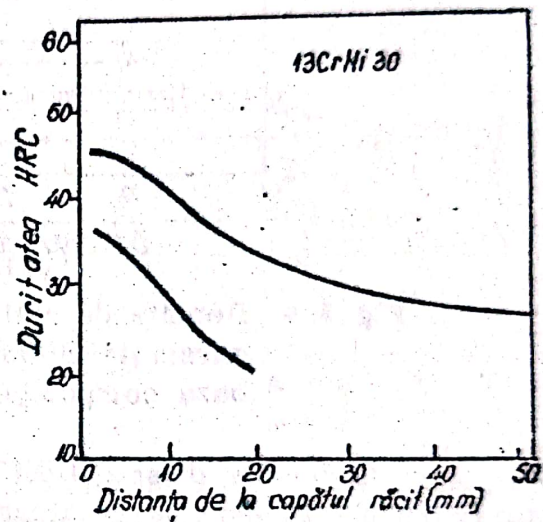
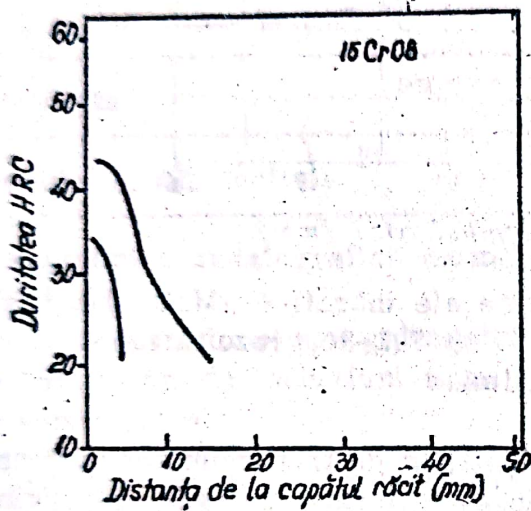
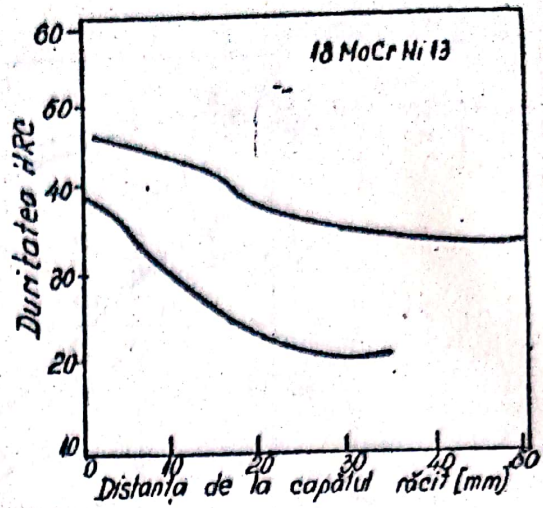
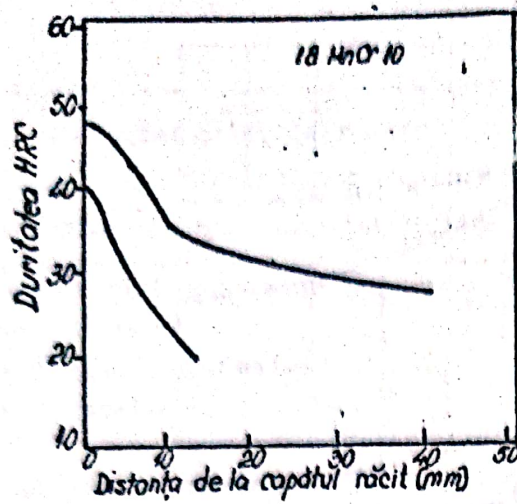


Fig. 5.5. Benzile de calibrilitate ale unor oțeluri de cementar



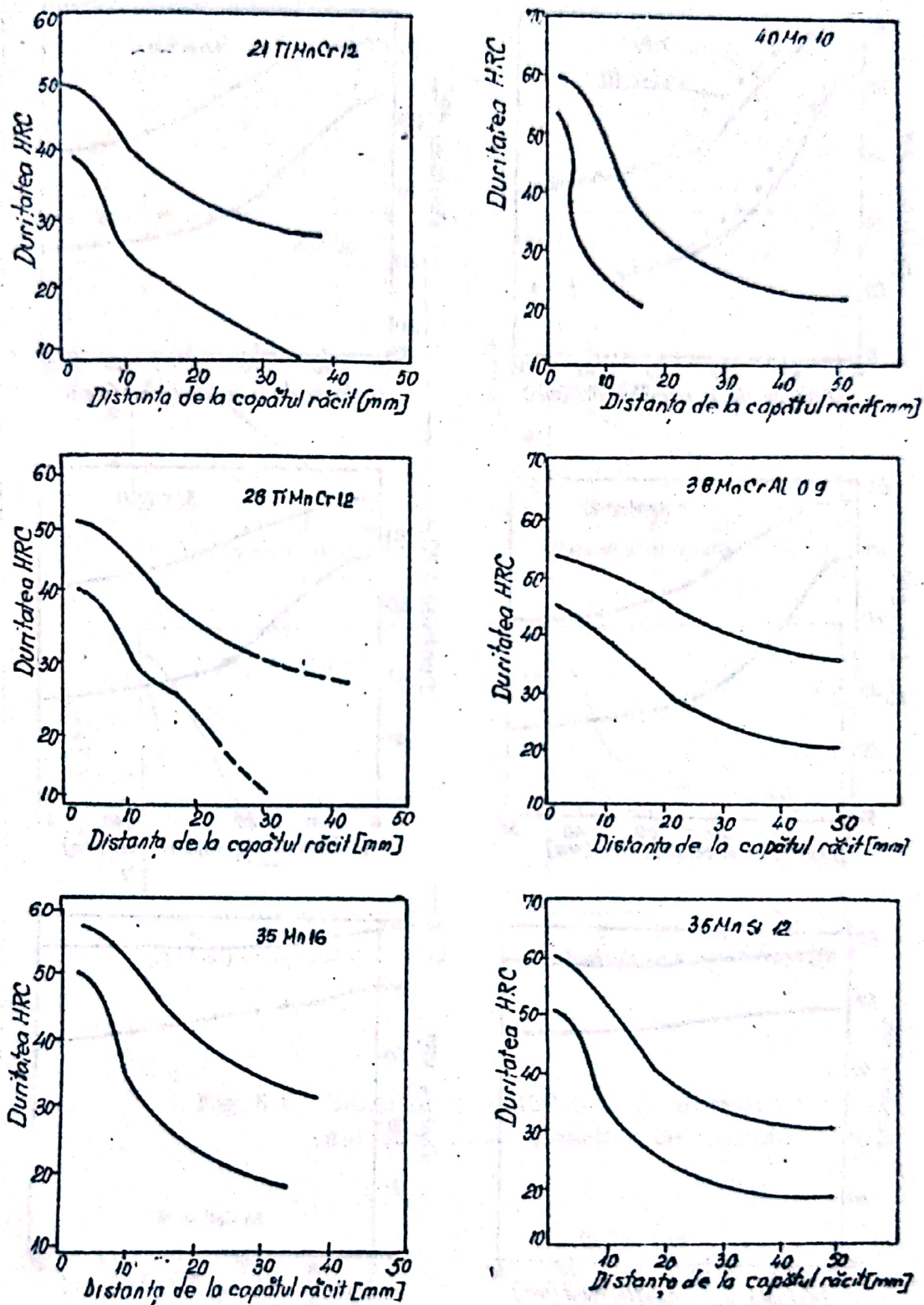


Fig. 5.6. Benzile de călibritate ale unor oțeluri de îmbunătățire



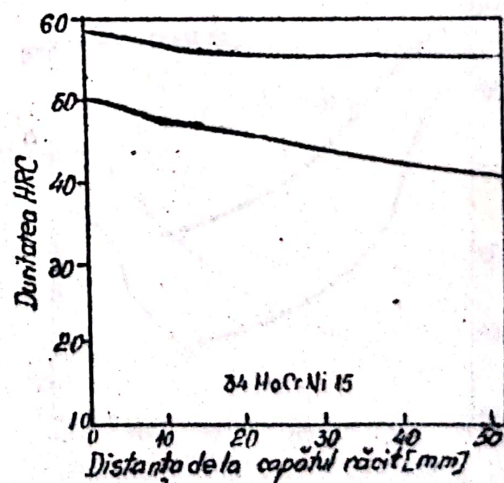
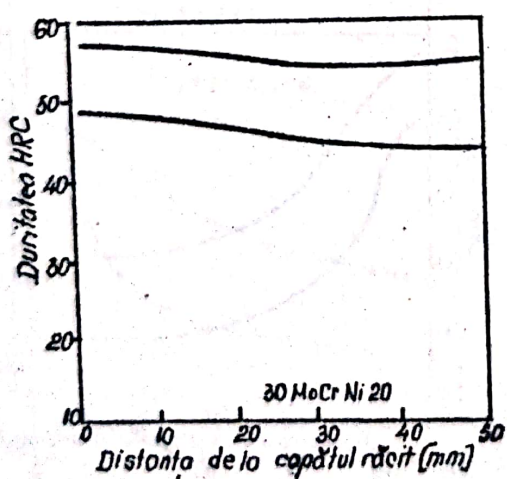
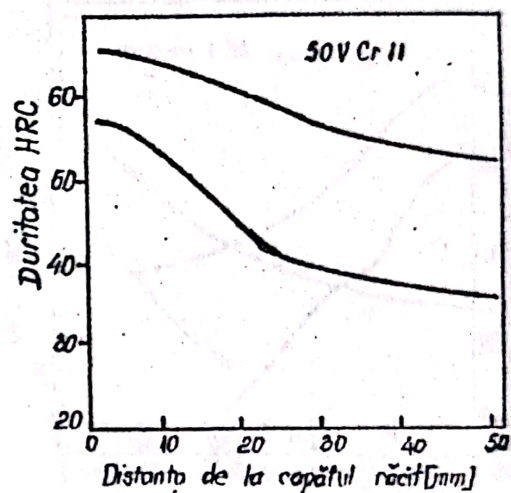
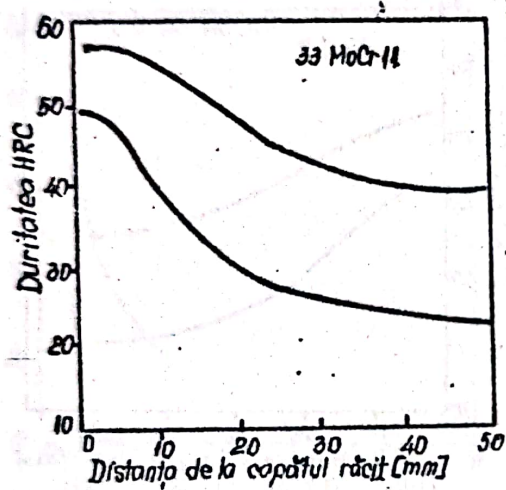
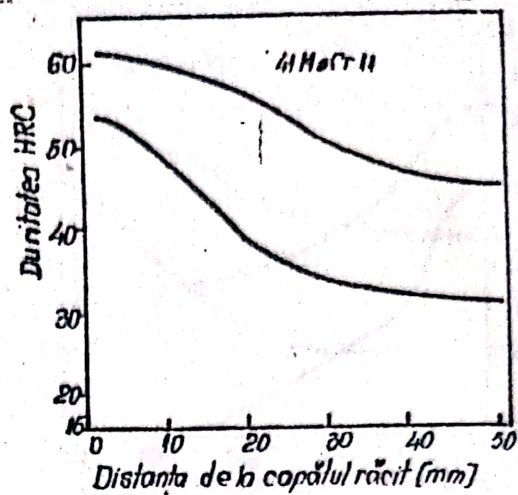
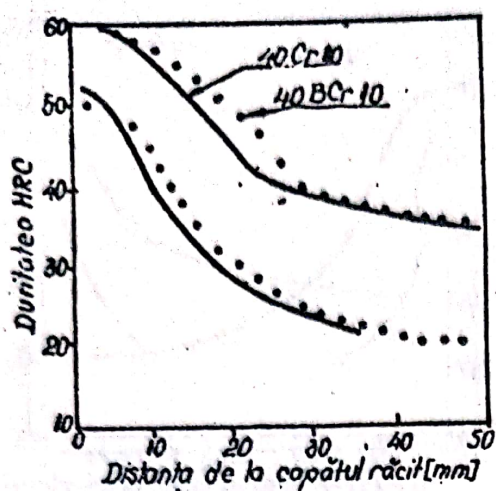


Fig. 5.7. Benzile de călibritate ale unor oțeluri de îmbunătățire



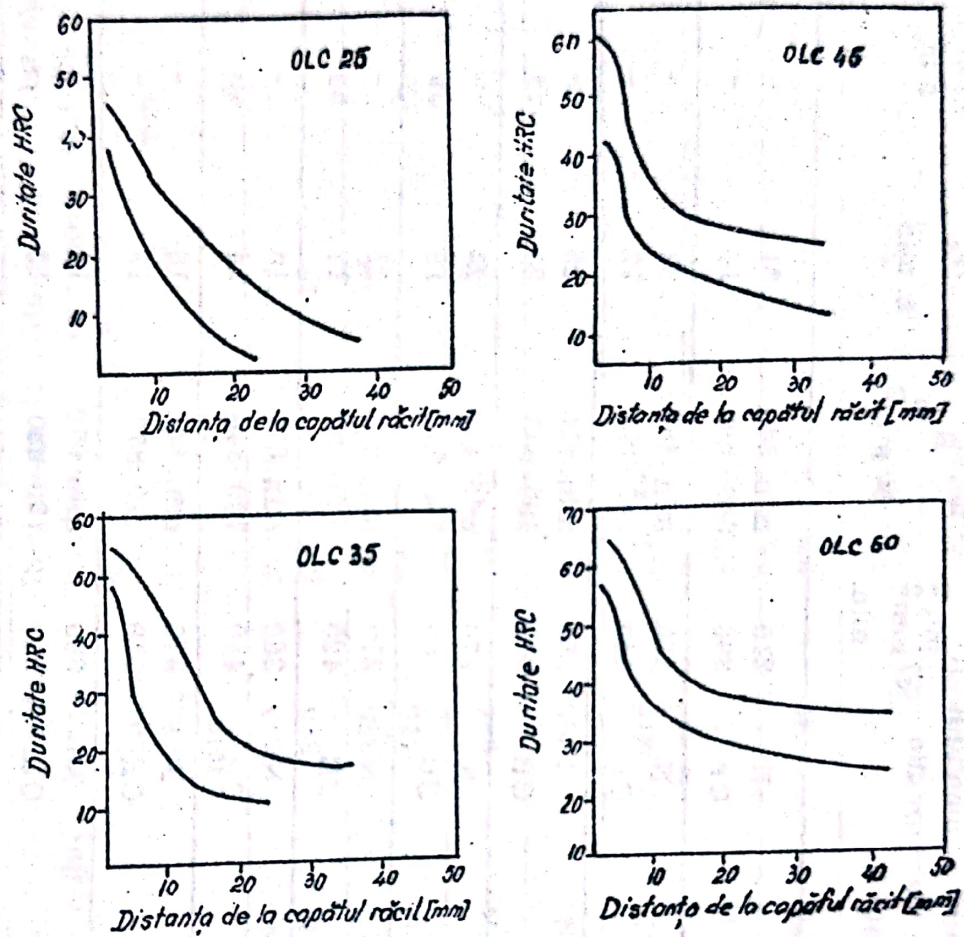


Fig. 5.8. Benzile de călibritate (informative)  
ale unor oțeluri carbon de calitate



TABELUL 5.35

| Marca de oțel | Diametrul probei de tratament termic de referință | Felul tratamentului termic | Limita de curgere $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> min. | Rezistența la tracțiune, $R_m$ N/mm <sup>2</sup> | Alungirea la rupere, $A_5$ %, min. | Reziliența KCU/5 J/cm <sup>2</sup> , min. | Duritate Brinell în stare re-coaptă HB max. |
|---------------|---------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| OLC 10        | -                                                 | N                          | 210                                                 | min. 340                                         | 31                                 | -                                         | 131                                         |
|               | 11                                                | Cr                         | 390                                                 | 640-790                                          | 13                                 | -                                         |                                             |
| OLC 15        | -                                                 | N                          | 230                                                 | min. 380                                         | 27                                 | -                                         | 146                                         |
|               | 11                                                | Cr                         | 440                                                 | 740-880                                          | 12                                 | -                                         |                                             |
| OLC 20        | -                                                 | N                          | 250                                                 | min. 410                                         | 25                                 | -                                         | 156                                         |
|               | 16                                                | CR                         | 310                                                 | 490-640                                          | 20                                 | 78                                        |                                             |
| OLC 25        | -                                                 | N                          | 270                                                 | min. 450                                         | 24                                 | -                                         | 165                                         |
|               | 16                                                | CR                         | 360                                                 | 540-690                                          | 19                                 | 69                                        |                                             |
| OLC 35        | -                                                 | N                          | 310                                                 | min. 530                                         | 21                                 | -                                         | 183                                         |
|               | 16                                                | CR                         | 420                                                 | 620-760                                          | 17                                 | 50                                        |                                             |
| OLC 45        | -                                                 | N                          | 360                                                 | min. 610                                         | 18                                 | -                                         | 207                                         |
|               | 16                                                | CR                         | 480                                                 | 700-840                                          | 14                                 | 40                                        |                                             |
| OLC 50        | -                                                 | N                          | 370                                                 | min. 640                                         | 16                                 | -                                         | 218                                         |
|               | 16                                                | CR                         | 510                                                 | 740-870                                          | 13                                 | -                                         |                                             |
| OLC 55        | -                                                 | N                          | 390                                                 | min. 670                                         | 14                                 | -                                         | 229                                         |
|               | 16                                                | CR                         | 540                                                 | 780-930                                          | 12                                 | -                                         |                                             |



TABELUL 5.35 (continuare)

| Marca de oțel | Diametrul probei de tratament termic de referință | Felul tratamentului termic | Limita de curgere<br>$R_{p0,2}$<br>N/mm <sup>2</sup><br>min. | Rezistența la tracțiune,<br>$R_m$<br>N/mm <sup>2</sup> | Alungirea la rupere<br>$A_5$<br>%, min. | Rezistența<br>$KCV/5$<br>J/cm <sup>2</sup> ,<br>min. | Duritate Brinnell în stare HB max. |
|---------------|---------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|
| OLC 60        | -                                                 | N                          | 400                                                          | min. 700                                               | 14                                      | -                                                    | 241                                |
|               | 16                                                | CR                         | 570                                                          | 830-980                                                | 11                                      | -                                                    |                                    |
| 35 Mn 16      | -                                                 | N                          | 350                                                          | min. 620                                               | 13                                      | -                                                    | 207                                |
|               | 16                                                | CR                         | 510                                                          | 740-930                                                | 12                                      | 39                                                   |                                    |
| 40 Mn 10      | 16                                                | CR                         | 640                                                          | 880-1070                                               | 12                                      | 40                                                   | -                                  |
| 65 Mn 10      | 25                                                | N                          | 390                                                          | min. 735                                               | 8                                       | -                                                    | -                                  |
| 120 Mn 120    | -                                                 | C                          | 315                                                          | min. 880                                               | 40                                      | -                                                    | -                                  |
| 18 MnCr 10    | 11                                                | Cr                         | 610                                                          | 880-1180                                               | 9                                       | -                                                    | 207                                |
| 35 MnSi 12    | 16                                                | CR                         | 740                                                          | 930-1130                                               | 14                                      | 59                                                   | 229                                |
| 15 Cr 08      | 11                                                | Cr                         | 460                                                          | 790-1030                                               | 10                                      | -                                                    | 174                                |
| 32 Cr 10      | 16                                                | Cr                         | 1320                                                         | 1620-1860                                              | 3                                       | 30                                                   | -                                  |
| 40 Cr 10      | 16                                                | CR                         | 790                                                          | 980-1180                                               | 10                                      | 29                                                   | 217                                |



TABELUL 5.35 (continuare)

| Marca de oțel | Diametrul probei de tratament termic de referință | Felul tratamentului termic | Limita de curgere $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> min. | Rezistența la tracțiune, $R_m$ N/mm <sup>2</sup> | Alungirea la rupere $A_5$ %, min. | Rezistența KCU/5 J/cm <sup>2</sup> min. | Duritate Brinnell în stare HB max. |
|---------------|---------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| 40 BCr 10     | 16                                                | CR                         | 740                                                 | 880-1080                                         | 11                                | 49                                      | 217                                |
| 13 CrNi 30    | 11                                                | Cr                         | 740                                                 | 930-1320                                         | 8                                 | -                                       | 217                                |
| 18 CrNi 20    | 11                                                | Cr                         | 830                                                 | 1220-1470                                        | 7                                 | -                                       | 235                                |
| 41 CrNi 12    | 16                                                | CR                         | 830                                                 | 980-1180                                         | 11                                | 49                                      | 217                                |
| 21 TiMnCr 12  | 11                                                | Cr                         | 880                                                 | 1180-1520                                        | 9                                 | -                                       | 217                                |
| 28 TiMnCr 12  | 11                                                | Cr                         | 1180                                                | 1370-1720                                        | 8                                 | -                                       | 229                                |
| 12 MoCr 10    | 12                                                | C                          | 780                                                 | 1080-1270                                        | 7                                 | 100                                     | -                                  |
| 16 MoCr 10    | 12                                                | C                          | 920                                                 | 1270-1470                                        | 6,5                               | 80                                      | -                                  |
| 20 MoCr 10    | 12                                                | C                          | 1020                                                | 1340-1570                                        | 7,5                               | 70                                      | -                                  |
| 25 MoCr 10    | 16                                                | CR                         | 785                                                 | 930-1180                                         | 12                                | 70                                      | 217                                |
| 33 MoCr 11    | 16                                                | CR                         | 780                                                 | 980-1180                                         | 12                                | 49                                      | 217                                |



TABELUL 5.35 (continuare)

| Marca de oțel | Diametrul probei de tratament termic de referință | Felul tratamentului termic | Limita de curgere $R_{p0,2}$<br>N/mm <sup>2</sup><br>min. | Rezistența la tracțiune, $R_m$<br>N/mm <sup>2</sup> | Alungirea la rupere $A_5$<br>%, min. | Rezistența KCU/5<br>J/cm <sup>2</sup><br>min. | Duritate Brinnell în stare HB max. |
|---------------|---------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|
| 41 MoCr 11    | 16                                                | CR                         | 880                                                       | 1080-1270                                           | 10                                   | 39                                            | 217                                |
| 20 MoNi 35    | 11                                                | Cr                         | 880                                                       | 1170-1520                                           | 10                                   | -                                             | 206                                |
| 18 MoCrNi 13  | 11                                                | Cr                         | 830                                                       | 1080-1420                                           | 9                                    | -                                             | 217                                |
| 20 MoCrNi 06  | 15                                                | Cr                         | 690                                                       | min. 880                                            | 11                                   | 100                                           | 217                                |
| 30 MoCrNi 20  | 16                                                | CR                         | 1030                                                      | 1230-1420                                           | 9                                    | 59                                            | 248                                |
| 34 MoCrNi 15  | 16                                                | CR                         | 980                                                       | 1180-1370                                           | 9                                    | 39                                            | 245                                |
| 35 MoCrNi 40  | 12                                                | CR                         | 930                                                       | 1080-1370                                           | 9                                    | 60                                            | 250                                |
| 21 MoMnCr 12  | 11                                                | Cr                         | 880                                                       | 1180-1520                                           | 9                                    | -                                             | 217                                |
| 38 MoCrAl 09  | 16                                                | CR                         | 790                                                       | 980-1180                                            | 10                                   | 39                                            | 229                                |
| 50 VCr 11     | 16                                                | CR                         | 880                                                       | 1080-1270                                           | 9                                    | 39                                            | 235                                |
| 20 MnB 5      | 16                                                | CR <sup>x)</sup>           | 685                                                       | 830-1030                                            | 11                                   | 90                                            | -                                  |

x) 500°C

Observații: 1) Tratamentul termic indicat este următorul: N- normalizare; C-călire; R-revenire înaltă și r - revenire joasă.

2) Caracteristicile mecanice ale oțelurilor destinate organelor de asamblare pentru temperaturi înalte și joase sînt date în tabelul 5.40.



ția caracteristicilor mecanice - în funcție de dimensiunea piesei tratate termic - este importantă, fapt reliefat și de datele prezentate în tabelul 5.36.

TABELUL 5.36

| Marca<br>de oțel | Trata-<br>ment<br>termic | Grosi-<br>mea sau<br>dime-<br>trul pie-<br>sel<br>mm | Limita<br>de<br>curgere<br>$R_{p0,2}$ | Rezistența<br>la tracțiune<br>$R_m$<br>$N/mm^2$ | Alungirea<br>la rupere<br>$A_5$ , min.<br>% | Reziliența<br>$KCU_{300/2}$<br>$J/cm^2$<br>min. |    |
|------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|----|
| OLC 10           | N                        | max. 16                                              | 215                                   | 340-420                                         | 31                                          | 90                                              |    |
|                  |                          | 16-40                                                | 215                                   | 330-420                                         | 30                                          | 90                                              |    |
|                  |                          | 40-100                                               | 205                                   | 320-420                                         | 29                                          | 80                                              |    |
|                  |                          | 100-160                                              | 205                                   | 320-410                                         | 28                                          | 80                                              |    |
|                  |                          | 160-250                                              | 195                                   | 320-410                                         | 27                                          | 80                                              |    |
|                  | Cr                       | max. 16                                              | 345                                   | 490-780                                         | 16                                          | 100                                             |    |
|                  |                          | 16-40                                                | 275                                   | 410-690                                         | 20                                          | 120                                             |    |
|                  |                          | 40-100                                               | 245                                   | 370-590                                         | 24                                          | 140                                             |    |
|                  | OLC 15                   | N                                                    | max. 16                               | 235                                             | 370-450                                     | 29                                              | 80 |
|                  |                          |                                                      | 16-40                                 | 225                                             | 360-450                                     | 28                                              | 80 |
| 40-100           |                          |                                                      | 215                                   | 350-450                                         | 27                                          | 70                                              |    |
| 100-160          |                          |                                                      | 205                                   | 350-440                                         | 26                                          | 70                                              |    |
| 160-250          |                          |                                                      | 195                                   | 350-440                                         | 25                                          | 70                                              |    |
| Cr               |                          | max. 16                                              | 440                                   | 690-1080                                        | 11                                          | 60                                              |    |
|                  |                          | 16-40                                                | 325                                   | 540-830                                         | 15                                          | 80                                              |    |
|                  |                          | 40-100                                               | 295                                   | 440-740                                         | 18                                          | 90                                              |    |
| OLC 20           |                          | N                                                    | max. 16                               | 255                                             | 410-490                                     | 28                                              | 70 |
|                  |                          |                                                      | 16-40                                 | 245                                             | 400-490                                     | 27                                              | 70 |
|                  | 40-100                   |                                                      | 225                                   | 390-490                                         | 26                                          | 60                                              |    |
|                  | 100-160                  |                                                      | 215                                   | 380-480                                         | 25                                          | 60                                              |    |
|                  | 160-250                  |                                                      | 205                                   | 370-480                                         | 24                                          | 60                                              |    |



TABELUL 5.36 (continuare)

| Marca de oțel | Trata-<br>ment<br>termic | Grosi-<br>mea sau<br>diame-<br>trul ple-<br>sei<br>mm | Limita<br>de<br>curgere<br>$R_{p0,2}$<br>N/mm <sup>2</sup> | Rezistența<br>la tracți-<br>une $R_m$<br>N/mm <sup>2</sup> | Alungirea<br>la rupere<br>$A_5$ , min.<br>% | Rezilien-<br>ța KCU<br>300/2<br>J/cm <sup>2</sup><br>min. |
|---------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|               | Cr                       | max. 16                                               | 590                                                        | 880-1270                                                   | 8                                           | 40                                                        |
|               |                          | 16-40                                                 | 420                                                        | 690-1030                                                   | 12                                          | 60                                                        |
|               |                          | 40-100                                                | 365                                                        | 590-880                                                    | 15                                          | 70                                                        |
|               | CR                       | max. 16                                               | 340                                                        | 490-640                                                    | 20                                          | 110                                                       |
|               |                          | 16-40                                                 | 280                                                        | 450-590                                                    | 21                                          | 110                                                       |
|               | N                        | max. 16                                               | 285                                                        | 470-560                                                    | 26                                          | 60                                                        |
|               |                          | 16-40                                                 | 265                                                        | 460-550                                                    | 25                                          | 60                                                        |
|               |                          | 40-100                                                | 255                                                        | 440-540                                                    | 24                                          | 50                                                        |
|               |                          | 100-160                                               | 245                                                        | 430-530                                                    | 23                                          | 50                                                        |
|               |                          | 160-250                                               | 235                                                        | 410-510                                                    | 22                                          | 50                                                        |
|               |                          |                                                       |                                                            |                                                            |                                             |                                                           |
|               | CR                       | max. 16                                               | 360                                                        | 540-690                                                    | 19                                          | 100                                                       |
|               |                          | 16-40                                                 | 300                                                        | 490-640                                                    | 20                                          | 100                                                       |
|               |                          | 40-100                                                | 285                                                        | 460-610                                                    | 21                                          | 80                                                        |
| OLC 35        | N                        | max. 16                                               | 310                                                        | 550-640                                                    | 23                                          | 50                                                        |
|               |                          | 16-40                                                 | 285                                                        | 550-630                                                    | 22                                          | 50                                                        |
|               |                          | 40-100                                                | 275                                                        | 510-620                                                    | 21                                          | 40                                                        |
|               |                          | 100-160                                               | 265                                                        | 500-610                                                    | 20                                          | 40                                                        |
|               |                          | 160-250                                               | 255                                                        | 470-580                                                    | 19                                          | 40                                                        |
|               | CR                       | max. 16                                               | 420                                                        | 620-760                                                    | 17                                          | 70                                                        |
|               |                          | 16-40                                                 | 360                                                        | 580-730                                                    | 19                                          | 70                                                        |
|               |                          | 40-100                                                | 320                                                        | 540-690                                                    | 20                                          | 70                                                        |
|               |                          | 100-160                                               | 315                                                        | 510-660                                                    | 20                                          | 60                                                        |
|               |                          |                                                       |                                                            |                                                            |                                             |                                                           |
| OLC 45        | N                        | max. 16                                               | 360                                                        | 630-710                                                    | 19                                          | 50                                                        |
|               |                          | 16-40                                                 | 315                                                        | 600-700                                                    | 19                                          | 50                                                        |
|               |                          | 40-100                                                | 295                                                        | 580-680                                                    | 19                                          | 40                                                        |
|               |                          | 100-160                                               | 285                                                        | 550-650                                                    | 18                                          | 40                                                        |
|               |                          | 160-250                                               | 275                                                        | 530-630                                                    | 17                                          | 40                                                        |
|               |                          |                                                       |                                                            |                                                            |                                             |                                                           |



TABELUL 5.36 (continuare)

| Marca de oțel | Trata-<br>ment<br>termic | Grosi-<br>mea sau<br>diame-<br>trul pie-<br>sel<br>mm | Limita<br>de<br>curgere<br>$R_{p0,2}$<br>N/mm <sup>2</sup> | Rezistența<br>la tracțiune<br>$R_m$<br>N/mm <sup>2</sup> | Alungirea<br>la rupere<br>$A_5$ , min.<br>% | Reziliența<br>KCU<br>300/2<br>J/cm <sup>2</sup><br>min. |
|---------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| OLC 50        | CR                       | max. 16                                               | 480                                                        | 700-840                                                  | 14                                          | 60                                                      |
|               |                          | 16-40                                                 | 410                                                        | 660-800                                                  | 16                                          | 60                                                      |
|               |                          | 40-100                                                | 370                                                        | 620-760                                                  | 17                                          | 60                                                      |
|               |                          | 100-160                                               | 345                                                        | 570-720                                                  | 18                                          | 40                                                      |
|               |                          | 160-250                                               | 325                                                        | 540-690                                                  | 19                                          | 40                                                      |
|               | N                        | max. 16                                               | 370                                                        | 640-760                                                  | 16                                          | 30                                                      |
|               |                          | 16-40                                                 | 335                                                        | 630-750                                                  | 16                                          | 25                                                      |
|               |                          | 40-100                                                | 305                                                        | 610-740                                                  | 15                                          | 25                                                      |
|               |                          | 100-160                                               | 295                                                        | 600-730                                                  | 14                                          | -                                                       |
|               |                          | 160-250                                               | 285                                                        | 570-710                                                  | 14                                          | -                                                       |
| OLC 55        | CR                       | max. 16                                               | 510                                                        | 740-870                                                  | 13                                          | 40                                                      |
|               |                          | 16-40                                                 | 430                                                        | 700-840                                                  | 15                                          | 35                                                      |
|               |                          | 40-100                                                | 390                                                        | 660-800                                                  | 16                                          | 30                                                      |
|               |                          | 100-160                                               | 365                                                        | 610-750                                                  | 17                                          | -                                                       |
|               |                          | 160-250                                               | 345                                                        | 580-730                                                  | 18                                          | -                                                       |
|               | N                        | max. 16                                               | 390                                                        | 670-880                                                  | 14                                          | -                                                       |
|               |                          | 16-40                                                 | 380                                                        | 670-860                                                  | 14                                          | -                                                       |
|               |                          | 40-100                                                | 365                                                        | 670-830                                                  | 13                                          | -                                                       |
|               |                          | 100-160                                               | 345                                                        | 660-800                                                  | 12                                          | -                                                       |
|               |                          | 160-250                                               | 305                                                        | 640-780                                                  | 12                                          | -                                                       |
| OLC 60        | CR                       | max. 16                                               | 540                                                        | 780-930                                                  | 12                                          | 35                                                      |
|               |                          | 16-40                                                 | 460                                                        | 740-880                                                  | 14                                          | 30                                                      |
|               |                          | 40-100                                                | 420                                                        | 700-840                                                  | 15                                          | 25                                                      |
|               |                          | 100-160                                               | 390                                                        | 660-800                                                  | 16                                          | -                                                       |
|               |                          | 160-250                                               | 370                                                        | 640-780                                                  | 17                                          | -                                                       |
|               | N                        | max. 40                                               | 400                                                        | min. 700                                                 | 13                                          | -                                                       |
|               |                          | 40-100                                                | 380                                                        | min. 670                                                 | 12                                          | -                                                       |
|               |                          | 100-250                                               | 360                                                        | min. 650                                                 | 11                                          | -                                                       |



TABELUL 5.36 (continuare)

| Marca<br>de oțel | Trata-<br>ment<br>termic | Grosi-<br>mea sau<br>dime-<br>trul ple-<br>sei<br>mm | Limita<br>de<br>curgere<br>$R_{p0,2}$<br>N/mm <sup>2</sup> | Rezistența<br>la tracți-<br>une $R_m$<br>N/mm <sup>2</sup> | Alungirea<br>la rupere<br>$A_5$ , min.<br>% | Reziliența<br>KCU<br>300/2<br>J/cm <sup>2</sup><br>min. |
|------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                  | CR                       | max. 16                                              | 570                                                        | 830-980                                                    | 11                                          | -                                                       |
|                  |                          | 16-40                                                | 490                                                        | 780-930                                                    | 13                                          | -                                                       |
|                  |                          | 40-100                                               | 450                                                        | 740-880                                                    | 14                                          | -                                                       |
|                  |                          | 100-250                                              | 390                                                        | min. 690                                                   | 15                                          | -                                                       |
| 35Mn16           | CR                       | max. 16                                              | 510                                                        | 740-930                                                    | 12                                          | 60                                                      |
|                  |                          | 16-40                                                | 470                                                        | 670-860                                                    | 14                                          | 70                                                      |
|                  |                          | 40-100                                               | 440                                                        | 620-810                                                    | 15                                          | 80                                                      |
| 40Mn10           | CR                       | max. 16                                              | 640                                                        | 880-1050                                                   | 12                                          | 40                                                      |
|                  |                          | 16-40                                                | 540                                                        | 790-935                                                    | 14                                          | 50                                                      |
|                  |                          | 40-100                                               | 440                                                        | 690-835                                                    | 15                                          | 60                                                      |
| 18MnCr10         | C                        | max. 12                                              | 880                                                        | 1080-1270                                                  | 7                                           | 65                                                      |
|                  | Cr                       | max. 30                                              | 560                                                        | 790-1080                                                   | 10                                          | 70                                                      |
|                  |                          | 30-60                                                | 440                                                        | 640-930                                                    | 11                                          | 70                                                      |
| 35MnSi12         | CR                       | max. 16                                              | 740                                                        | 930-1130                                                   | 14                                          | 40                                                      |
|                  |                          | 16-40                                                | 640                                                        | 830-1030                                                   | 15                                          | 50                                                      |
|                  |                          | 40-100                                               | 540                                                        | 740-930                                                    | 16                                          | 50                                                      |
|                  |                          | 100-250                                              | 490                                                        | 690-830                                                    | 16                                          | 50                                                      |
| 15Cr08           | Cr                       | max. 30                                              | 410                                                        | 690-880                                                    | 11                                          | 80                                                      |
| 32Cr10           | Cr                       | max. 12                                              | 1320                                                       | 1620-1860                                                  | 3                                           | 30                                                      |
|                  | CR                       | max. 16                                              | 685                                                        | 880-1080                                                   | 12                                          | 60                                                      |
|                  |                          | 16-40                                                | 590                                                        | 780-930                                                    | 14                                          | 60                                                      |
|                  |                          | 40-100                                               | 460                                                        | 690-830                                                    | 15                                          | 60                                                      |
| 40Cr10           | CR                       | max. 16                                              | 790                                                        | 980-1180                                                   | 10                                          | 40                                                      |
|                  |                          | 16-40                                                | 670                                                        | 880-1080                                                   | 11                                          | 70                                                      |
|                  |                          | 40-100                                               | 560                                                        | 780-930                                                    | 13                                          | 80                                                      |



TABELUL 5.36 (continuare)

| Marca<br>de oțel | Trata-<br>ment<br>termic | Grosi-<br>mea sau<br>diame-<br>trul ple-<br>sel<br>mm | Limita<br>d.<br>curgere<br>$R_{p0,2}$<br>N/mm <sup>2</sup> | Rezistența<br>la tracți-<br>une $R_m$<br>N/mm <sup>2</sup> | Alungirea<br>la rupere<br>$A_5$ , min.<br>% | Reziliența<br>KCU 300/2<br>J/cm <sup>2</sup><br>min. |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 13CrNi30         | Cr                       | max. 30                                               | 640                                                        | 880-1170                                                   | 10                                          | 80                                                   |
|                  |                          | 30-63                                                 | 540                                                        | 780-1080                                                   | 11                                          | 100                                                  |
| 21TiMnCr12       | Cr                       | max. 30                                               | 780                                                        | 1030-1320                                                  | 9                                           | 70                                                   |
|                  |                          | 30-63                                                 | 690                                                        | 930-1180                                                   | 9                                           | 80                                                   |
| 28TiMnCr12       | Cr                       | max. 30                                               | 980                                                        | 1230-1520                                                  | 8                                           | 60                                                   |
|                  |                          | 30-63                                                 | 880                                                        | 1180-1420                                                  | 8                                           | 60                                                   |
| 12MoCr10         | C                        | max. 12                                               | 780                                                        | 1080-1270                                                  | 7                                           | 100                                                  |
| 16MoCr10         | C                        | max. 12                                               | 920                                                        | 1250-1470                                                  | 6                                           | 80                                                   |
| 20MoCr10         | Cr                       | max. 16                                               | 880                                                        | 1130-1520                                                  | 8                                           | 50                                                   |
|                  |                          | 16-40                                                 | 735                                                        | 980-1420                                                   | 9                                           | 60                                                   |
|                  |                          | 40-100                                                | 635                                                        | 830-1270                                                   | 10                                          | 60                                                   |
| 25MoCr10         | Cr                       | max. 30                                               | 735                                                        | 1070-1360                                                  | 7                                           | -                                                    |
|                  | CR                       | max. 16                                               | 690                                                        | 880-1170                                                   | 12                                          | 75                                                   |
|                  |                          | 16-40                                                 | 590                                                        | 790-930                                                    | 14                                          | 90                                                   |
|                  |                          | 40-100                                                | 460                                                        | 690-830                                                    | 15                                          | 100                                                  |
|                  |                          | 100-160                                               | 410                                                        | 630-790                                                    | 16                                          | 80                                                   |
| 33MoCr11         | CR                       | max. 16                                               | 780                                                        | 980-1180                                                   | 11                                          | 70                                                   |
|                  |                          | 16-40                                                 | 680                                                        | 880-1080                                                   | 12                                          | 80                                                   |
|                  |                          | 40-100                                                | 560                                                        | 780-930                                                    | 13                                          | 80                                                   |
|                  |                          | 100-160                                               | 510                                                        | 740-880                                                    | 16                                          | 80                                                   |
|                  |                          | 160-250                                               | 460                                                        | 690-830                                                    | 15                                          | 80                                                   |
| 41MoCr11         | CR                       | max. 16                                               | 880                                                        | 1080-1270                                                  | 10                                          | 60                                                   |
|                  |                          | 16-40                                                 | 780                                                        | 980-1180                                                   | 11                                          | 70                                                   |
|                  |                          | 40-100                                                | 690                                                        | 880-1080                                                   | 12                                          | 70                                                   |



TABELUL 5.36(continuare)

| Marca<br>de oțel | Trata-<br>ment<br>termic | Grosi-<br>mea sau<br>drame-<br>trul pie-<br>sel<br>mm | Limita<br>de<br>curgere<br>$R_{p0,2}$<br>$N/mm^2$ | Rezistența<br>la tracți-<br>une $R_m$<br>$N/mm^2$ | Alungirea<br>la rupere<br>$A_5$ , min.<br>% | Rezilien-<br>ța KCU<br>$300/2$<br>$J/cm^2$<br>min. |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                  |                          | 100-160                                               | 560                                               | 780-930                                           | 13                                          | 70                                                 |
|                  |                          | 160-250                                               | 510                                               | 740-880                                           | 14                                          | 70                                                 |
| 20MoNi35         | Cr                       | max. 30                                               | 690                                               | 930-1220                                          | 11                                          | 80                                                 |
|                  |                          | 30-63                                                 | 640                                               | 880-1130                                          | 11                                          | 100                                                |
| 18MoCrNi13       | Cr                       | max. 30                                               | 690                                               | 930-1220                                          | 9                                           | 80                                                 |
|                  |                          | 30-63                                                 | 590                                               | 830-1130                                          | 10                                          | 100                                                |
| 20MoCrNi06       | Cr                       | max. 30                                               | 590                                               | 780-1080                                          | 12                                          | 90                                                 |
| 30MoCrNi20       | CR                       | max. 16                                               | 1030                                              | 1230-1420                                         | 9                                           | 60                                                 |
|                  |                          | 16-40                                                 | 1030                                              | 1230-1420                                         | 9                                           | 60                                                 |
|                  |                          | 40-100                                                | 880                                               | 1080-1270                                         | 10                                          | 70                                                 |
|                  |                          | 100-160                                               | 780                                               | 980-1180                                          | 12                                          | 80                                                 |
|                  |                          | 160-250                                               | 690                                               | 880-1080                                          | 12                                          | 80                                                 |
| 34MoCrNi15       | CR                       | max. 16                                               | 980                                               | 1180-1370                                         | 9                                           | 60                                                 |
|                  |                          | 16-40                                                 | 880                                               | 1080-1270                                         | 10                                          | 70                                                 |
|                  |                          | 40-100                                                | 780                                               | 980-1180                                          | 11                                          | 80                                                 |
|                  |                          | 100-160                                               | 690                                               | 880-1080                                          | 12                                          | 80                                                 |
|                  |                          | 160-250                                               | 590                                               | 780-930                                           | 13                                          | 80                                                 |
| 35MoCrNi40       | CR                       | max. 16                                               | 1030                                              | 1230-1420                                         | 9                                           | 50                                                 |
|                  |                          | 16-40                                                 | 1030                                              | 1230-1420                                         | 9                                           | 50                                                 |
|                  |                          | 40-100                                                | 930                                               | 1130-1320                                         | 10                                          | 50                                                 |
|                  |                          | 100-160                                               | 880                                               | 1080-1270                                         | 11                                          | 50                                                 |
|                  |                          | 160-250                                               | 785                                               | 980-1180                                          | 11                                          | 50                                                 |
| 21MoMnCr12       | Cr                       | max. 30                                               | 740                                               | 980-1270                                          | 10                                          | 60                                                 |
|                  |                          | 30-63                                                 | 590                                               | 830-1080                                          | 11                                          | 60                                                 |



TABELUL 5.36(continuare)

| Marca de oțel              | Trata-ment termic | Grosi-me sau diame-trul ple-sel<br>mm | Limita de curgere<br>$R_{p0,2}$<br>N/mm <sup>2</sup> | Rezistența la tracțiune<br>$R_m$<br>N/mm <sup>2</sup> | Alungirea la rupere<br>$A_5$ ,<br>% min. | Reziliența KCU 300/2<br>J/cm <sup>2</sup><br>min. |
|----------------------------|-------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 38MoCrAl09                 | CR                | max. 16                               | 780                                                  | 980-1180                                              | 10                                       | 60                                                |
|                            |                   | 16-40                                 | 690                                                  | 930-1130                                              | 11                                       | 70                                                |
|                            |                   | 40-100                                | 590                                                  | 830-930                                               | 13                                       | 80                                                |
| 34MoNiCrAl09 <sup>x)</sup> | CR                | max. 40                               | -                                                    | min. 1470                                             | -                                        | -                                                 |
|                            |                   | 40-100                                | 685                                                  | -                                                     | 12                                       | 70                                                |
|                            |                   | 100-250                               | 590                                                  | -                                                     | 14                                       | 80                                                |
| 50VCr11                    | CR                | max. 16                               | 880                                                  | 1080-1270                                             | 9                                        | 60                                                |
|                            |                   | 16-40                                 | 780                                                  | 980-1180                                              | 10                                       | 60                                                |
|                            |                   | 40-100                                | 690                                                  | 880-1080                                              | 11                                       | 60                                                |
|                            |                   | 100-160                               | 640                                                  | 830-980                                               | 12                                       | 60                                                |
|                            |                   | 160-250                               | 590                                                  | 780-930                                               | 12                                       | 60                                                |
| 20MnB5 <sup>xx)</sup>      | Cr                | max. 16                               | 980                                                  | 1230-1520                                             | 7                                        | 40                                                |
|                            |                   | 16-40                                 | 735                                                  | 1030-1420                                             | 7                                        | 40                                                |
|                            |                   | 40-100                                | 490                                                  | 735-1230                                              | 8                                        | 50                                                |
|                            | CR                | max. 16                               | 590                                                  | 740-880                                               | 15                                       | 100                                               |
|                            |                   | 16-40                                 | 540                                                  | 690-830                                               | 16                                       | 100                                               |
|                            |                   | 40-100                                | 370                                                  | 540-690                                               | 19                                       | 100                                               |

x) Caracteristici indicate în norma germană DIN 17210

xx) Caracteristici indicate în norma franceză NFA 35-551

**Observații:** Tratatamentul termic indicat este următorul:

C - călire; R - revenire înaltă; r - revenire joasă.

Valorile din tabel se referă numai la tipul 4 de livrare. Limita superioară a rezistenței la rupere se garantează numai la oțelurile superioare, inclusiv superioare cu sulf controlat. Pentru produsele cu diametrul sau grosimea sub 12 mm, încercarea de reziliență se efectuează pe epruvete cu secțiunea redusă, valorile minime fiind stabilite la înțelegere.



Rezistența la oboseală, la ciclu alternant simetric, determinată pe epruvete netede pentru  $10^7$  cicluri, este prezentată în tabelul 5.37, iar tabelul 5.38 conține caracteristicile mecanice ale oțelurilor carbon de calitate, livrate în stare trasă. În cazul oțelurilor de îmbunătățire, un rol important îl au condițiile de revenire, determinând caracteristicile mecanice din piesa respectivă. În figurile 5.9.

TABELUL 5.37

| Marca<br>de oțel | Tratamentul termic <sup>1)</sup>                   |                         | Rezistența<br>la oboseală<br>- valori<br>medii<br>$\text{N/mm}^2$<br>( $\text{kgf/mm}^2$ ) | Rezistența<br>la rupere, $R_m$<br>- valori<br>medii<br>$\text{N/mm}^2$<br>( $\text{kgf/mm}^2$ ) |
|------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | Condiții<br>de temperatură                         | Mediu<br>de ră-<br>cire |                                                                                            |                                                                                                 |
| OLC 10           | $C = 900^\circ\text{C}$<br>$r = 180^\circ\text{C}$ | apă<br>aer              | 250<br>(25,5)                                                                              | 525<br>(53,5)                                                                                   |
| OLC 15           | $C = 890^\circ\text{C}$<br>$r = 180^\circ\text{C}$ | apă<br>aer              | 275<br>(28,0)                                                                              | 599<br>(61,0)                                                                                   |
| 15Cr08           | $C = 890^\circ\text{C}$<br>$r = 180^\circ\text{C}$ | ulei<br>aer             | 278<br>(28,3)                                                                              | 737<br>(75,0)                                                                                   |
| 18MnCr10         | $C = 880^\circ\text{C}$<br>$r = 180^\circ\text{C}$ | ulei<br>aer             | 396<br>(40,4)                                                                              | 1030<br>(105,0)                                                                                 |
| 21TiMnCr12       | $C = 880^\circ\text{C}$<br>$r = 200^\circ\text{C}$ | ulei<br>aer             | 385<br>(39,2)                                                                              | 981<br>(100,0)                                                                                  |
| 21MoMnCr12       | $C = 840^\circ\text{C}$<br>$r = 190^\circ\text{C}$ | ulei<br>aer             | 452<br>(46,1)                                                                              | 1186<br>(120,9)                                                                                 |
| 18MoCrNi13       | $C = 840^\circ\text{C}$<br>$r = 180^\circ\text{C}$ | ulei<br>aer             | 480<br>(48,9)                                                                              | 1092<br>(111,3)                                                                                 |
| 28TiMnCr12       | $C = 880^\circ\text{C}$<br>$r = 190^\circ\text{C}$ | ulei<br>aer             | 484<br>(49,3)                                                                              | 1251<br>(127,5)                                                                                 |
| 13CrNi30         | $C = 860^\circ\text{C}$<br>$r = 180^\circ\text{C}$ | ulei<br>aer             | 380<br>(38,7)                                                                              | 908<br>(92,6)                                                                                   |



TABELUL 5.37 (continuare)

| Marca<br>de oțel | Tratamentul termic <sup>1)</sup> |                         | Rezistența<br>la oboseală<br>-valori<br>medii <sup>2</sup><br>N/mm <sup>2</sup><br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | Rezistența<br>la rupere,<br>R <sub>m</sub><br>-valori<br>medii <sup>2</sup><br>N/mm <sup>2</sup><br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) |
|------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | Condiții<br>de tem-<br>peratură  | Mediu<br>de ră-<br>cire |                                                                                                           |                                                                                                                            |
| 20MoN135         | C = 840°C<br>r = 180°C           | ulei<br>aer             | 411<br>(41,9)                                                                                             | 1139<br>(116,1)                                                                                                            |
| OLC 25           | C = 880°C<br>R = 580°C           | apă<br>aer              | 288<br>(29,4)                                                                                             | 703<br>(71,7)                                                                                                              |
| OLC 35           | C = 860°C<br>R = 580°C           | apă<br>aer              | 340<br>(34,6)                                                                                             | 707<br>(72,1)                                                                                                              |
| OLC 45           | C = 840°C<br>R = 590°C           | ulei<br>aer             | 400<br>(40,8)                                                                                             | 899<br>(91,6)                                                                                                              |
| OLC 55           | C = 820°C<br>R = 580°C           | ulei<br>aer             | 403<br>(41,1)                                                                                             | 886<br>(90,3)                                                                                                              |
| OLC 60           | C = 820°C<br>R = 580°C           | ulei<br>aer             | 406<br>(41,4)                                                                                             | 965<br>(98,4)                                                                                                              |
| 35Mn16           | C = 850°C<br>R = 600°C           | ulei<br>apă             | 421<br>(42,9)                                                                                             | 989<br>(100,8)                                                                                                             |
| 40Cr10           | C = 840°C<br>R = 550°C           | ulei<br>apă             | 498<br>(50,8)                                                                                             | 1095<br>(111,6)                                                                                                            |
| 40BCr10          | C = 840°C<br>R = 550°C           | ulei<br>apă             | 536<br>(54,6)                                                                                             | 1125<br>(114,7)                                                                                                            |
| 33MoCr11         | C = 850°C<br>R = 580°C           | ulei<br>aer             | 520<br>(53,0)                                                                                             | 1194<br>(121,7)                                                                                                            |
| 41MoCr11         | C = 840°C<br>R = 580°C           | ulei<br>aer             | 483<br>(49,2)                                                                                             | 1179<br>(120,2)                                                                                                            |



TABELUL 5.37 (continuare)

| Marca de oțel | Tratamentul termic <sup>1)</sup> |                 | Rezistența la oboseală - valori medii<br>$N/mm^2$<br>( $kgf/mm^2$ ) | Rezistența la rupere, $R_m$ - valori medii<br>$N/mm^2$<br>( $kgf/mm^2$ ) |
|---------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|               | Condiții de temperatură          | Mediu de răcire |                                                                     |                                                                          |
| 34 MoCrNi15   | C = 850°C                        | ulei            | 518                                                                 | 1217                                                                     |
|               | R = 560°C                        | aer             | (52, 8)                                                             | (124, 0)                                                                 |
| 30MoCrNi20    | C = 850°C                        | ulei            | 564                                                                 | 1222                                                                     |
|               | R = 560°C                        | aer             | (57, 5)                                                             | (124, 6)                                                                 |
| 50VCr11       | C = 865°C                        | ulei            | 532                                                                 | 1175                                                                     |
|               | R = 600°C                        | apă             | (54, 2)                                                             | (119, 8)                                                                 |

1)

C = călire

R = revenire înaltă

r = revenire joasă

TABELUL 5.38

| Marca de oțel | Oțel tras (T), cojit tras (CT) și tras șlefuit (TS) |                                                             |                                                  | Oțel tras recopt (TR), tras recopt șlefuit (TRS) și cojit șlefuit (CS) |                                                  |
|---------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|               | Dimensiunea sau grosimea mm                         | Rezistența de rupere la tracțiune $R_m$<br>$N/mm^2$<br>min. | Alungirea relativă la rupere $A_5$<br>%,<br>min. | Rezistența de rupere la tracțiune, $R_m$<br>$N/mm^2$<br>min.           | Alungirea relativă la rupere $A_5$<br>%,<br>min. |
| OLC 10        | max. 6                                              | 510                                                         | 7                                                | 310-410                                                                | 30                                               |
|               | 6-10                                                | 460                                                         | 8                                                |                                                                        |                                                  |
|               | 11-25                                               | 410                                                         | 9                                                |                                                                        |                                                  |
|               | 26-40                                               | 390                                                         | 11                                               |                                                                        |                                                  |
|               | 41-80                                               | 360                                                         | 12                                               |                                                                        |                                                  |



TABELUL 5.38 (continuare)

| Marca<br>de oțel | Oțel tras (T), cojit tras (CT)<br>și tras șlefuit (TS) | Oțel tras recopt (TR),<br>tras recopt șlefuit (TRS)<br>și cojit șlefuit (CS) |                                                                                        |                                                           |                                                                             |
|------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
|                  |                                                        | Dimensiune sau<br>grosimea<br>mm                                             | Rezisten-<br>ța de ru-<br>pere la<br>tracțiune<br>$R_m$<br>N/mm <sup>2</sup> ,<br>min. | Alungirea<br>relativă<br>la rupere<br>$A_5$<br>%,<br>min. | Rezistența<br>de rupere<br>la tracțiune, $R_m$<br>N/mm <sup>2</sup><br>min. |
| OLC 15           | max. 6                                                 | 540                                                                          | 7                                                                                      | 350-440                                                   | 25                                                                          |
|                  | 6-10                                                   | 490                                                                          | 8                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 11-25                                                  | 490                                                                          | 9                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 26-40                                                  | 440                                                                          | 10                                                                                     |                                                           |                                                                             |
|                  | 41-80                                                  | 390                                                                          | 11                                                                                     |                                                           |                                                                             |
| OLC 20           | max. 6                                                 | 560                                                                          | 7                                                                                      | 360-460                                                   | 24                                                                          |
|                  | 6-10                                                   | 520                                                                          | 7                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 11-25                                                  | 490                                                                          | 8                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 26-40                                                  | 470                                                                          | 9                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 41-80                                                  | 440                                                                          | 10                                                                                     |                                                           |                                                                             |
| OLC 25           | max. 6                                                 | 590                                                                          | 6                                                                                      | 370-490                                                   | 23                                                                          |
|                  | 6-10                                                   | 540                                                                          | 7                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 11-25                                                  | 490                                                                          | 7                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 26-40                                                  | 490                                                                          | 8                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 41-80                                                  | 460                                                                          | 9                                                                                      |                                                           |                                                                             |
| OLC 30           | max. 6                                                 | 640                                                                          | 6                                                                                      | 390-510                                                   | 22                                                                          |
|                  | 6-10                                                   | 590                                                                          | 7                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 11-25                                                  | 570                                                                          | 7                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 26-40                                                  | 520                                                                          | 8                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 41-80                                                  | 490                                                                          | 9                                                                                      |                                                           |                                                                             |
| OLC 35           | max. 6                                                 | 690                                                                          | 5                                                                                      | 440-590                                                   | 20                                                                          |
|                  | 6-10                                                   | 640                                                                          | 6                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 11-25                                                  | 590                                                                          | 7                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 26-40                                                  | 540                                                                          | 8                                                                                      |                                                           |                                                                             |
|                  | 41-80                                                  | 490                                                                          | 9                                                                                      |                                                           |                                                                             |



TABELUL 5.38 (continuare)

| Marca<br>de oțel | Oțel tras (T), cojit tras (CT)<br>și tras șlefuit (TS) |                                                                               |                                                        | Oțel tras recopt (TR),<br>tras recopt șlefuit (TRS)<br>și cojit șlefuit (CS) |                                                        |
|------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                  | Dimensiunea sau<br>grosimea<br>mm                      | Rezistența de rupere la<br>tracțiune<br>$R_{m2}$<br>N/mm <sup>2</sup><br>min. | Alungirea relativă<br>la rupere<br>$A_5$<br>%,<br>min. | Rezistența de rupere<br>la tracțiune, $R_{m2}$<br>N/mm <sup>2</sup><br>min.  | Alungirea relativă<br>la rupere<br>$A_5$<br>%,<br>min. |
| OLC 40           | max. 6                                                 | 740                                                                           | 5                                                      | 470-640                                                                      | 17                                                     |
|                  | 6-10                                                   | 690                                                                           | 6                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 11-25                                                  | 620                                                                           | 7                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 26-40                                                  | 590                                                                           | 7                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 41-80                                                  | 540                                                                           | 8                                                      |                                                                              |                                                        |
| OLC 45           | max. 6                                                 | 780                                                                           | 5                                                      | 490-690                                                                      | 6                                                      |
|                  | 6-10                                                   | 740                                                                           | 6                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 11-25                                                  | 690                                                                           | 7                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 26-40                                                  | 640                                                                           | 7                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 41-80                                                  | 590                                                                           | 8                                                      |                                                                              |                                                        |
| OLC 50           | max. 6                                                 | 800                                                                           | 5                                                      | 590-760                                                                      | 14                                                     |
|                  | 6-10                                                   | 750                                                                           | 5                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 11-25                                                  | 720                                                                           | 6                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 26-40                                                  | 670                                                                           | 7                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 41-80                                                  | 620                                                                           | 8                                                      |                                                                              |                                                        |
| OLC 55           | max. 6                                                 | 830                                                                           | 5                                                      | 610-780                                                                      | 13                                                     |
|                  | 6-10                                                   | 780                                                                           | 5                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 11-25                                                  | 740                                                                           | 6                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 26-40                                                  | 710                                                                           | 7                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 41-80                                                  | 650                                                                           | 7                                                      |                                                                              |                                                        |
| OLC 60           | max. 6                                                 | 880                                                                           | 5                                                      | 630-830                                                                      | 12                                                     |
|                  | 6-10                                                   | 830                                                                           | 5                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 11-25                                                  | 780                                                                           | 6                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 26-40                                                  | 740                                                                           | 7                                                      |                                                                              |                                                        |
|                  | 41-80                                                  | 690                                                                           | 7                                                      |                                                                              |                                                        |



5.10 și 5.11 se prezintă pentru unele oțeluri variația limitei de curgere, rezistenței la rupere, alungirii și găturii la rupere, în funcție de temperatura de revenire. Curbele din fig. 5.9. și 5.11 se referă la epruvete luate la 12,5 mm de suprafață din bare cu diametrul de 60 mm, îmbunătățite. În figura 5.10 se prezintă influența temperaturii de revenire asupra caracteristicilor mecanice de tracțiune ale epruvetelor tratate termic provenite din 4 mărci de oțel de cementare și, respectiv, pe bare de 60 mm la marca de oțel de nitrurare 38 MoCrAl09.

Un caz deosebit îl constituie organele de asamblare la care filetul reprezintă un concentrator puternic de tensiuni. În consecință, oțelurile folosite în fabricația de organe de asamblare trebuie să prezinte o sensibilitate minimă la efectul de încreștere în condițiile unei rezistențe mecanice corespunzătoare. Organele de asamblare standardizate, care lucrează la temperatura ambiantă, sînt confecționate din oțeluri ce îndeplinesc prescripțiile indicate în tabelul 5.39. O largă răspîndire au căpătat, în acest domeniu, oțelurile aliate cu mangan și bor care se folosesc pentru șuruburile cu performanțe medii. Din această categorie, în R.S.România este tipizată marca 20 MnB 5, conform STAS 11511.

TABELUL 5.39

| Caracteristica                        | Unitatea<br>de<br>măsură | Grupa de caracteristici mecanice |     |     |     |      |      |               |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|------|------|---------------|
|                                       |                          | 4.6                              | 4.8 | 5.6 | 5.8 | 8.8  | 10.9 | 12.9          |
| Rezistența de rupere, $R_m$ , min.    | N/mm <sup>2</sup>        | 400                              | 420 | 500 | 520 | 800  | 1040 | 1220          |
| Limita de curgere, $R_{p0,2}$ , min.  | N/mm <sup>2</sup>        | 240                              | 340 | 300 | 420 | 640  | 940  | 1100          |
| Alungirea la rupere, $A_5$ , min.     | %                        | 22                               | 14  | 20  | 10  | 12   | 9    | 8             |
| Reziliența, KCU 5 min.                | J/cm <sup>2</sup>        | -                                | -   | 50  | -   | 60   | 40   | 30            |
| Categoriile de oțel recomandate       | -                        | A                                | AB  | AB  | AB  | BCDE | DE   | E             |
| Starea materialului în produsul finit | Fără tratament termic    |                                  |     |     |     |      |      | Tratat termic |

A - oțel carbon de uz general; B - oțel pentru prelucrări pe mașini unelte automate; C - oțel carbon de calitate; D - oțel cu Mn (1-1,4%) și B (0,001 - 0,05 %); E - oțel aliat.



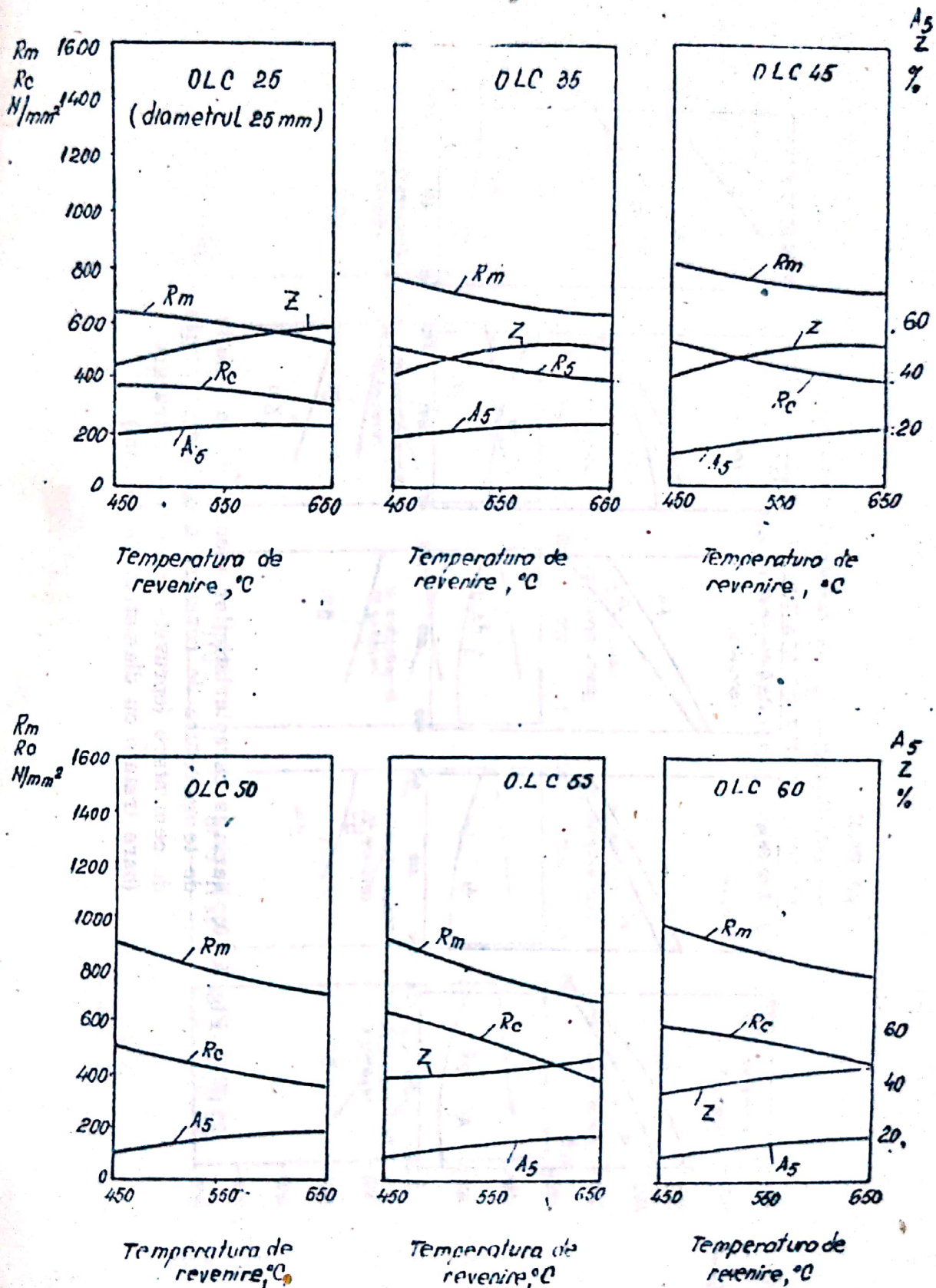


Fig. 5.9. Variația caracteristicilor mecanice, în funcție de temperatura de revenire a oțelurilor carbon de calitate



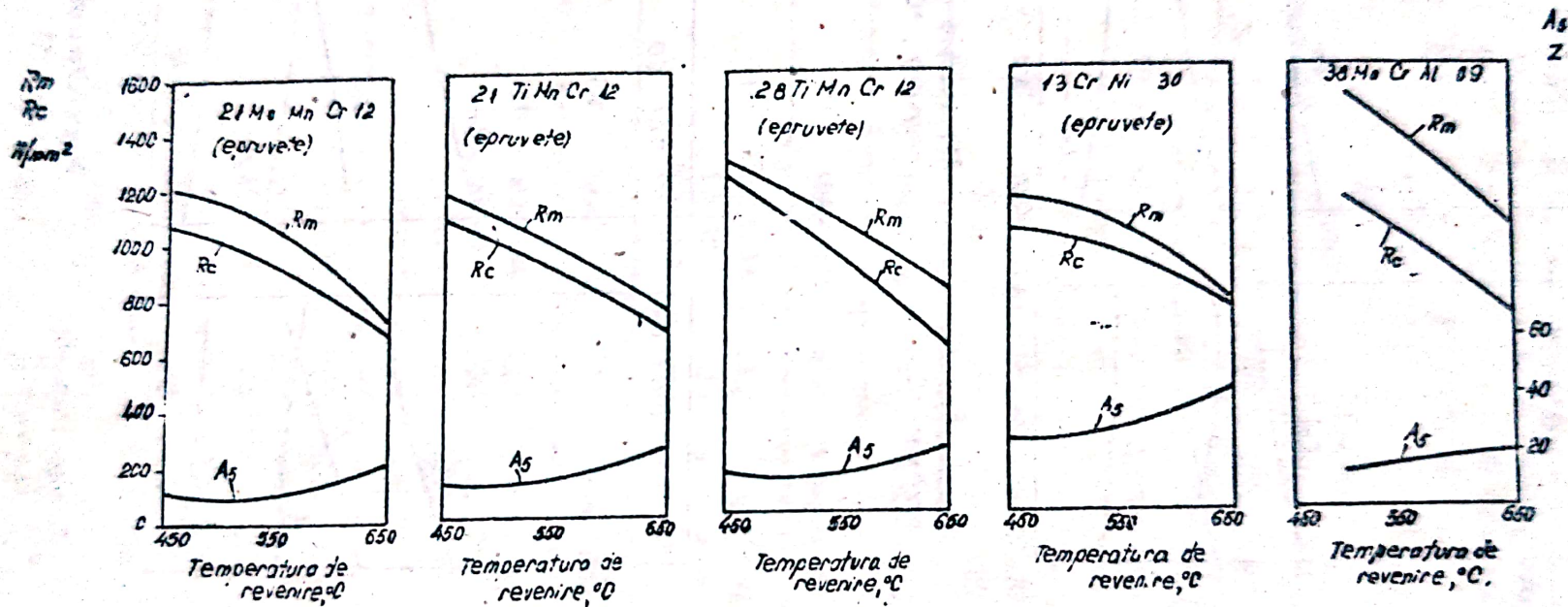


Fig. 5.10. Variația caracteristicilor mecanice, în funcție de temperatura de revenire a oțelurilor aliate de cementare (epruvete tratate) și nitrurare (bare tratate cu diametrul de 60 mm)



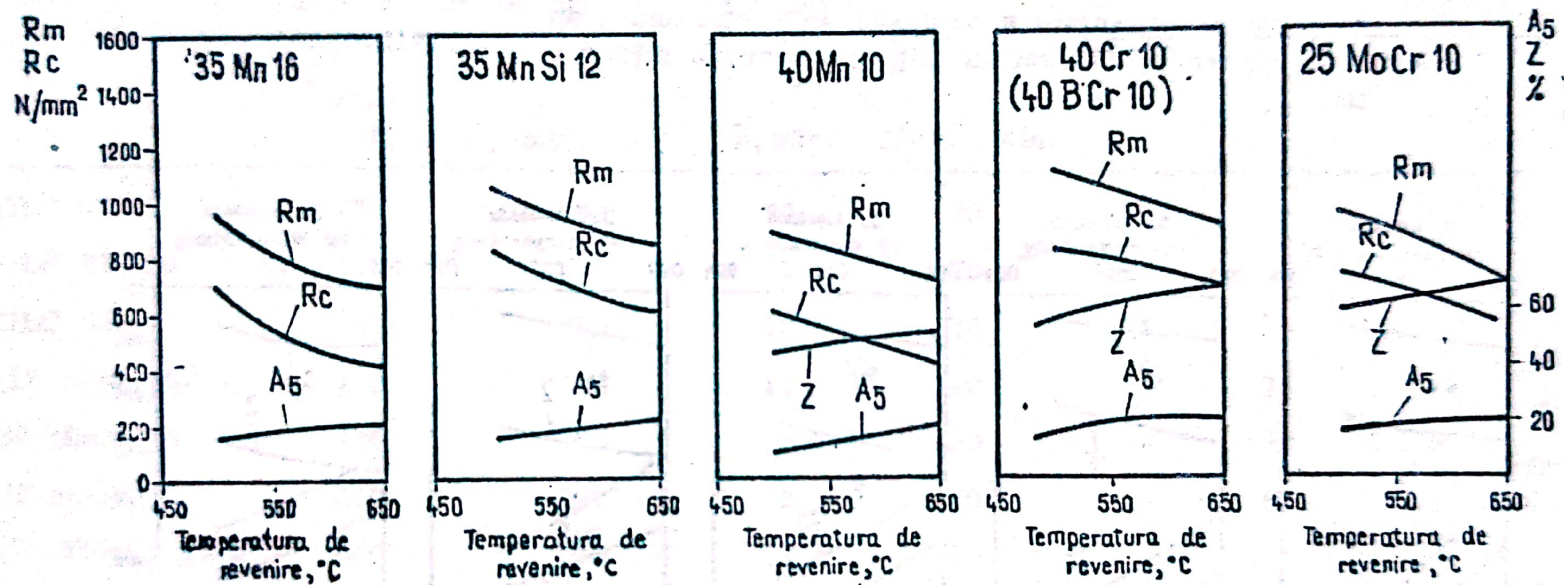


Fig. 5.11a. Variația caracteristicilor mecanice, în funcție de temperatura de revenire a oțelurilor aliate de îmbunătățire (bare tratate cu diametrul de 60 mm)



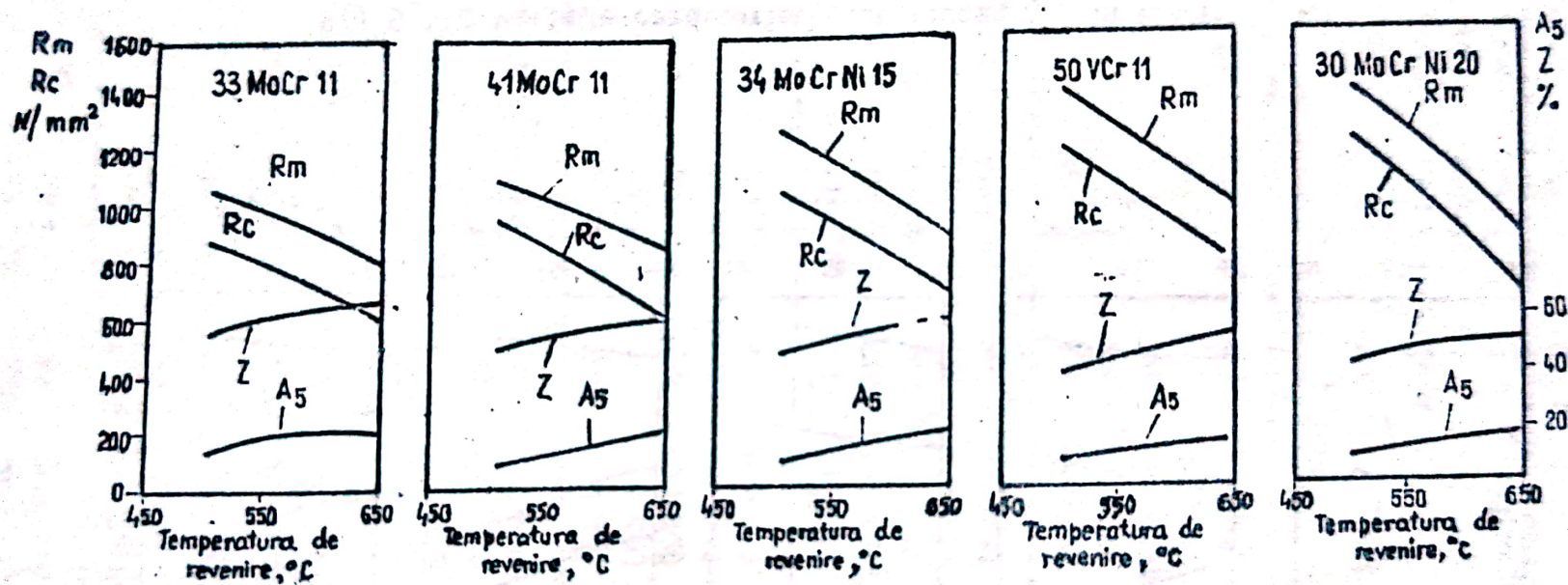


Fig. 5.11.b. - Variația caracteristicilor mecanice, în funcție de temperatura de revenire a oțelurilor aliate de îmbunătățire (bare tratate cu diametrul de 60 mm)



TABELUL 5.40

| Marca oțelului | Limita de<br>curgere con-<br>vențională<br>$R_{p0,2}$<br>N/mm <sup>2</sup> , min. | Rezistența<br>la rupere<br>$R_m$<br>min. | Alungirea<br>la rupere<br>$A_5$<br>%, min. | Reziliența<br>$KCU_2$<br>J/cm <sup>2</sup> , min. | Temperatura °C                   |      |      |      |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|------|------|------|
|                |                                                                                   |                                          |                                            |                                                   | - 10                             | - 30 | - 60 | -100 |
|                |                                                                                   |                                          |                                            |                                                   | Energia de rupere KV,<br>J, min. |      |      |      |
| OLC 25         | 260                                                                               | 440                                      | 20                                         | 70                                                | 28                               | -    | -    | -    |
| OLC 35         | 300                                                                               | 510                                      | 19                                         | 70                                                | 28                               | -    | -    | -    |
| OLC 45         | 350                                                                               | 590                                      | 18                                         | 70                                                | 28                               | -    | -    | -    |
| (13 CrNi 30)   | 440                                                                               | 590                                      | 14                                         | 120                                               | -                                | 28   | -    | -    |
| 25 MoCr 10     | 440                                                                               | 590                                      | 18                                         | 80                                                | -                                | 28   | -    | -    |
| 33 MoCr 11     | 540                                                                               | 740                                      | 13                                         | 80                                                | -                                | 28   | -    | -    |
| (21 VMoCr 12)  | 540                                                                               | 690                                      | 17                                         | 80                                                | -                                | -    | -    | -    |
| (24 VMoCr 12)  | 540                                                                               | 690                                      | 17                                         | 80                                                | -                                | -    | -    | -    |
| 41 MoCr 11     | 590                                                                               | 780                                      | 11                                         | 80                                                | -                                | 28   | -    | -    |
| 10 Ni 35       | 295                                                                               | 490                                      | 25                                         | 80                                                | -                                | -    | -    | 28   |

Mărcile de oțel înscrise în paranteze vor fi utilizate cu restricții fiind greu obținabile



TABELUL 5.41

| Caracteristica | Temperatura, °C                                                        |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------|------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                | 200                                                                    | 250 | 300 | 350 | 400 | 420 | 450 | 500 |
|                | Limita de curgere convențională $R_{po, 2}$ , N/mm <sup>2</sup> , min. |     |     |     |     |     |     |     |
| OLC 25         | 200                                                                    | 190 | 180 | 170 | 150 | -   | -   | -   |
| OLC 35         | 250                                                                    | 240 | 220 | 200 | 180 | -   | -   | -   |
| OLC 45         | 290                                                                    | 270 | 250 | 230 | 200 | -   | -   | -   |
| (13 CrNi 30)   | 410                                                                    | 390 | 370 | 320 | 290 | 270 | -   | -   |
| 25 MoCr 10     | 410                                                                    | 390 | 360 | 330 | 300 | 290 | 275 | 245 |
| (33 MoCr 11)   | 490                                                                    | 440 | 390 | 340 | 320 | 280 | -   | -   |
| 24 VMoCr 12)   | 490                                                                    | 470 | 450 | 430 | 400 | 390 | 375 | 345 |
| 21 VMoCr 12    | 510                                                                    | 500 | 480 | 460 | 430 | 420 | 400 | 370 |
| 41 MoCr 11     | 540                                                                    | 510 | 480 | 410 | 350 | 290 | -   | -   |

Observație: Valorile se referă la materialul în stare îmbunătățită la nivelul caracteristicilor mecanice din tabelul 5.40.

Mărcile de oțel înscrise în paranteze vor fi utilizate cu restricții fiind greu obținabile.



Caracteristicile mecanice ale oțelurilor recomandate a fi folosite pentru organe de asamblare la temperatura mediului ambiant și temperaturi scăzute sînt date în tabelul 5.40, iar la temperaturi ridicate în tabelul 5.41. În mod deosebit în cazul șuruburilor se urmărește ca prin tratamentul termic aplicat să se realizeze cel mai bun compromis între caracteristicile de rezistență și sensibilitatea la încreștere, deoarece, în condițiile îmbinării șurub-piuliță, valori ridicate ale rezistenței la oboseală nu se obțin decît în cazul în care creșterea rezistenței la tracțiune, în urma tratamentului termic, este însoțită și de o sensibilitate redusă la încreștere. De asemenea, pentru organele de asamblare, destinate să lucreze în medii care favorizează coroziunea fisurantă sub tensiune, se aplică o revenire mai înaltă, ceea ce conduce la caracteristicile mecanice din tabelul 5.42.

TABELUL 5.42

| Caracteristica                      | Unitatea de măsură | Temperatura °C | Marca de oțel                                   |                                                    |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                     |                    |                | OLC 45<br>Temperatura de revenire:<br>620-680°C | 41MoCr 11<br>Temperatura de revenire:<br>680-710°C |
| Limita de curgere $R_{p0,2}$ , min. | N/mm <sup>2</sup>  | 20             | 310                                             | 490                                                |
|                                     |                    | 200            | 280                                             | 390                                                |
|                                     |                    | 250            | 260                                             | 370                                                |
|                                     |                    | 300            | 250                                             | 350                                                |
|                                     |                    | 350            | 220                                             | 290                                                |
|                                     |                    | 400            | 190                                             | 260                                                |
|                                     |                    | 420            | -                                               | 250                                                |
| Rezistența la rupere, $R_m$         | N/mm <sup>2</sup>  | 20             | min. 550                                        | 660-830                                            |
| Alungirea la rupere, $A_5$ , min.   | %                  | 20             | 14                                              | 14                                                 |
| Reziliența KCU 2 min.               | J/cm <sup>2</sup>  | 20             | 70                                              | 80                                                 |
| Energia de rupere KV, min.          | J                  | -30            | -30                                             | 28                                                 |



TABELUL 5.42 (continuare)

| Caracteristica          | Unitatea de măsură | Temperatura °C | Marca de oțel                                    |                                                    |
|-------------------------|--------------------|----------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                         |                    |                | OLC 45<br>Temperatura de revenire:<br>620-680 °C | 41MoCr11<br>Temperatura de revenire:<br>680-710 °C |
| Modulul de elasticitate | N/mm <sup>2</sup>  | 20             | 206 000                                          |                                                    |
|                         |                    | 300            | 181 000                                          |                                                    |
|                         |                    | 400            | 171 000                                          |                                                    |
|                         |                    | 500            | 161 000                                          |                                                    |

### 5.3. Oțelurile pentru ambutisare sau îndoire la rece

Oțelurile din această familie, care sînt destinate confecționării de plese și elemente componente de mașini, utilaje și instalații prin deformare plastică la rece, se caracterizează printr-o capacitate ridicată de deformare, proprietate ce impune tuturor oțelurilor din această familie un conținut scăzut de carbon.

În tabelul 5.43 sînt redată principalele domenii de utilizare și formele de livrare ale oțelurilor pentru ambutisare sau îndoire la rece, conform Decretului nr.99 al Consiliului de Stat referitor la tipizarea mărcilor și produselor din oțel.

TABELUL 5.43

| Marca de oțel | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                   | Formele de livrare             |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| A 1           | Plese executate prin îndoire și ambutisare la rece, cu grad redus de deformare, folosite în industria de autovehicule, mașini agricole, articole de menaj, ambalaje metalice pentru produse chimice | Produse plate laminate la rece |
| A 2           | Plese obținute prin îndoire și ambutisare la rece, cu grad moderat de deformare, folosite în industria de autovehicule, mașini agricole, articole de menaj                                          | Produse plate laminate la rece |



TABELUL 5.43 (continuare)

| Marca de oțel | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                    | Formele de livrare                                 |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| A 3           | Piese obținute prin ambutisare la rece, cu grad mediu de deformare, folosite în industria de autovehicule, mașini agricole, articole de menaj, piese tubulare îndoit | Produse plate laminate la rece<br>Produse tubulare |
| A 3 Ck        | Jenți de autovehicule și alte piese de ambutisare medle                                                                                                              | Produse plate laminate la cald                     |
| A 4           | Piese obținute prin ambutisare adâncă pentru caroserii auto, articole de menaj                                                                                       | Produse plate laminate la rece                     |
| A 5           | Piese obținute prin ambutisare foarte adâncă pentru caroserii auto, vase și articole de menaj                                                                        | Produse plate laminate la rece                     |
| A 21          | Piese ambutisate la rece sau îndoit la abkant supuse emailării                                                                                                       | Produse plate laminate la cald                     |

Condițiile tehnice de calitate ale oțelurilor pentru ambutisare sau îndoire la rece sînt prescrise în STAS 9485 (Table și benzi pentru ambutisare), STAS 10318 (Table și benzi de oțel laminate la rece pentru caroserii auto), STAS 11501 (Tablă groasă pentru ambutisare și îndoire la rece) și STAS 11509 (Tablă mijlocie și groasă decapată).

Caracteristicile mecanice garantate, în cazul acestor oțeluri, sînt cele din tabelele 5.44, 5.45 și 5.46. În cazul mărcilor de oțel A<sub>1</sub>-A<sub>5</sub> se asigură și capacitatea de ambutisare, evidențiată prin încercarea Erichsen; în acest caz se garantează valorile din tabelul 5.47.



TABELUL 5.44

| Marca<br>oțelului | Limita de<br>curgere $R_{po,2}$ sau<br>$R_{eH}$<br>$N/mm^2$<br>( $kgf/mm^2$ )<br>max. | Rezistența<br>la rupere<br>$R_m$<br>$N/mm^2$<br>( $kgf/mm^2$ ) | Alungirea<br>la rupere<br>$A$ , pentru<br>$L_0 = 80 mm$<br>%<br>min. | Duritatea<br>HRB<br>max. |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| A1                | -                                                                                     | 270-410<br>(28-42)                                             | 26                                                                   | -                        |
| A2                | 260(27)                                                                               | 270-390<br>(28-40)                                             | 30                                                                   | -                        |
| A 3               | 240(24)                                                                               | 270-370<br>(28-38)                                             | 34                                                                   | -                        |
| A 4               | -                                                                                     |                                                                | 30                                                                   | 57                       |
| A 5               | 220(23)                                                                               | 270-340<br>(28-35)                                             | 36                                                                   | 50                       |

Observații:

1. Se admite depășirea limitei de curgere cu  $19,6 N/mm^2$  ( $2 kgf/mm^2$ ) cu condiția ca celelalte caracteristici mecanice să fie respectate, iar tabla după deformare să nu prezinte figuri de curgere.
2. Depășirea durității cu cel mult 10% nu constituie motiv de refuz.
3. La calitățile  $A_4$  și  $A_5$ , la înțelegere între producător și beneficiar, pentru anumite piese complexe, se garantează raporturi  $R_{po,2}/R_m$  la valori stabilite de comun acord.



TABELUL 5.45

| Marca<br>oțelului | Limita de<br>curgere<br>$R_{p0,2}$<br>$N/mm^2$<br>( $kgf/mm^2$ )<br>min. | Rezistența<br>la rupere<br>$R_m$<br>$N/mm^2$<br>( $kgf/mm^2$ )<br>min. | Alungirea<br>la rupere<br>A %<br>min. | Diametrul<br>dornului<br>de îndoi-<br>re la re-<br>ce la<br>180° | Temperatura de<br>încercare °C                                     |       |         |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------|---------|
|                   |                                                                          |                                                                        |                                       |                                                                  | +20                                                                | 0     | -25     |
|                   |                                                                          |                                                                        |                                       |                                                                  | Reziliența KCU<br>300/2 $J/cm^2$<br>( $kgf \cdot m/cm^2$ )<br>min. |       |         |
| A 21              | 210(21)                                                                  | 340...440<br>(35...45)                                                 | 25                                    | 0,5. a                                                           | 88(9)                                                              | 67(7) | 40(4,5) |
| A3 Ck             | 196(20)                                                                  | min.<br>274(28)                                                        | 28                                    | 1,0. a                                                           | -                                                                  | -     | -       |

Observații:

1. Încercarea de reziliență se efectuează în cazul tablelor cu grosimea de 6 - 60 mm. Valoarea garantată reprezintă media a 3 încercări, dintre care una se admite sub medie, maximum cu o unitate.
2. Pentru marca de oțel A3 Ck caracteristicile mecanice și tehnologice, precum și lipsa figurilor de curgere la deformarea la rece se garantează timp de 8 zile de la livrare în cazul tablelor din oțel necalmat și timp de 6 luni în cazul tablelor din oțel calmat.

TABELUL 5.46

| Marca<br>oțelului                                    | Temperatura de încercare, °C |         |         |         |
|------------------------------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|
|                                                      | + 100                        | + 200   | + 300   | + 400   |
| Limita de curgere $R_{p0,2}$ $N/mm^2$ ( $kgf/mm^2$ ) |                              |         |         |         |
| A 21                                                 | 200(20)                      | 180(18) | 140(14) | 100(10) |

Observație:

1. Determinarea limitei de curgere la cald se face în cazul tablelor cu grosimea între 6 și 60 mm.



În funcție de aspectul suprafeței, defectele superficiale admise și mărimea acestora, benzile și tablele din mărcile de oțel A1, A2 și A3 se livrează în trei grupe de calitate 02, 03 și 04, iar cele din mărcile A4 și A5 în două grupe, 03 și 04.

TABELUL 5.47

| Grosimea<br>benzilor sau<br>tablei (mm) | Marca de oțel                  |      |      |      |       |
|-----------------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------|
|                                         | A1                             | A2   | A3   | A4   | A5    |
|                                         | Adâncimea minimă a calotei, mm |      |      |      |       |
| 0,50                                    | 8,4                            | 8,9  | 9,4  | 8,9  | 9,70  |
| 0,60                                    | 8,8                            | 9,2  | 9,7  | 9,3  | 10,10 |
| 0,80                                    | 9,2                            | 9,8  | 10,2 | 9,9  | 10,65 |
| 1,00                                    | 9,8                            | 10,2 | 10,6 | 10,4 | 11,10 |
| 1,25                                    | 10,2                           | 10,9 | 11,2 | 10,9 | 11,55 |
| 1,50                                    | 10,5                           | 11,2 | 11,4 | 11,3 | 11,90 |
| 1,75                                    | 10,8                           | 11,5 | 11,8 | 11,6 | 12,20 |
| 2,00                                    | 11,1                           | 11,8 | 12,1 | 11,9 | 12,50 |

**Observații:**

- Pentru grosimi intermediare, adâncimea minimă a calotei se obține prin interpolarea valorilor din tabel.

**5.4. Oțelurile pentru arcuri**

Arcurile sînt organele de mașini a căror principală funcționare este să se deformeze sub acțiunea unei forțe exterioare și să-și recapete forma inițială cînd forța exterioară este anulată; ele se pot clasifica în trei mari categorii:

- arcuri cu foi, sollicitate în principal la încovoiere;
- arcuri elicoidale ale căror spire sînt sollicitate la încovoiere și torsiune;

- bare de torsiune.

Oțelurile pentru arcuri trebuie să satisfacă următoarele condiții tehnice specifice acestui domeniu de utilizare:

- limită de elasticitate cît mai mare;
- rezistență la oboseală ridicată, însoțită de o sensibilitate cît mai redusă față de concentratori;
- stabilitate în timp satisfăcătoare a caracteristicilor mecanice în condiții de temperatură și mediu, specifice utilizării;



TABELUL 5.48

| Marca de oțel tipizată | Principalele domenii de utilizare,                                                                                                                                        | Formele de livrare                                                                                     |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OLC 55 A<br>OLC 65 A   | Arcuri pentru solicitări mici, de tip spiral, elicoidal și cu foi; mediul de utilizare-necorosiv; temperatura de utilizare - max. 100°C                                   | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase |
| OLC 66 S               | Arcuri de supape                                                                                                                                                          | Oțel calibrat                                                                                          |
| OLC 75 A               | Arcuri pentru solicitări mici de tip spiral, elicoidal și cu foi; mediul de utilizare-necorosiv; temperatura de utilizare - max. 150°C                                    | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase |
| OLC 85 A               | Arcuri pentru solicitări medii, de tip spiral, elicoidal și în foi, inele de fixare pentru rulmenți; mediul de utilizare-necorosiv; temperatura de utilizare - max. 150°C | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase |
| 40 Si 17 A             | Arcuri pentru solicitări medii, în foi sau elicoidale pentru material rulant                                                                                              | Profile laminate la cald<br>Șirme laminate și trase                                                    |

305





TABELUL 5.48 (continuare)

| Marca de oțel<br>tipizată | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                         | Formele de livrare                                                                                     |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 51 Si 17 A                | Arcuri pentru solicitări medii, cu foi sau elicoidale pentru material rulant sau utilaje cu mediu de lucru necorosiv; temperatura de utilizare - de max. 150°C                            | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase |
| 51 VCr 11 A               | Arcuri puternic solicitate (elicoidale, cu foi sau bare de torsiune), de grosime mare (peste 7 mm), lucrând și în mediu umed la max. 300°C                                                | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase |
| 56 Si 17 A                | Arcuri de solicitare medie, cu foi, elicoidale și plăci elastice, folosite în utilaje cu mediu de lucru necorosiv, la temperatura de max. 200°C                                           | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase |
| 60 Si 15 A                | Arcuri de solicitare medie, cu foi, elicoidale, disco, inelare, destinate în special pentru vehicule grele, folosite în utilaje cu mediu de lucru necorosiv, la temperatura de max. 200°C | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat<br>Șirme laminate și trase |



TABELUL 5.48 (continuare)

| Marca de oțel tipizată | Principalele domenii de utilizare                                                                                     | Formele de livrare                                                                                   |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 60 CrMnSi 12 A         | Arcuri inelare pentru tamponare la vagoane și locomotive de cale ferată                                               | Produse plate laminate la cald<br>Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat                          |
| X                      | Arcuri pentru autoturisme                                                                                             | Oțel calibrat<br>Sârme laminate și trase                                                             |
| 65 Mn 10               | Arcuri de solicitare medie, de uz general, utilizat în medii necorozive, la temperatura mediului ambiant              | Produse plate laminate la cald                                                                       |
| 65 Si 2 W A            | Arcuri puternic solicitate la temperaturi de max. 300°C                                                               | Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Sârme laminate și trase |
| 67 CrSi 12 A           | Arcuri de supape, arcuri elicoidale, bare de torsune puternic solicitate; pot fi folosite în mediu umed la max. 300°C | Produse plate laminate la rece<br>Oțel calibrat                                                      |



TABELUL 5.49

| Tipul de oțel<br>pentru arcuri | Modulul<br>de elas-<br>ticitate | Modulul de elasticitate $N/mm^2 \times 10^5$ |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                |                                 | Temperatura $^{\circ}C$                      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                |                                 | 20                                           | 100  | 200  | 300  | 400  | 450  | 500  | 550  |
| Oțel carbon<br>și aliat        | E                               | 2,10                                         | 2,06 | 2,00 | 1,93 |      |      |      |      |
|                                | G                               | 0,80                                         | 0,75 | 0,72 | 0,70 |      |      |      |      |
| Oțel aliat,<br>termorezistent  | E                               | 2,10                                         | 2,06 | 2,00 | 1,93 | 1,81 | 1,74 | 1,73 | 1,70 |
|                                | G                               | 0,80                                         | 0,75 | 0,72 | 0,71 | 0,68 |      |      |      |



• caracteristici de plasticitate, care să permită formarea arcurilor prin tehnologii adecvate fără a compromite proprietățile inițiale ale materialului.

Condițiile tehnice referitoare la caracteristicile de întrebuintare și tehnologice ale oțelurilor pentru arcuri sînt reglementate de STAS 795 (Oțeluri pentru arcuri - Mărci și condiții tehnice generale de calitate). Produsele livrabile din oțelurile pentru arcuri sînt precizate în tabelul 5.48, în care sînt înscrise și principalele domenii de utilizare, conform Decrétului nr.99 al Consiliului de Stat referitor la tipizarea mărcilor și produselor din oțel.

Modulul de elasticitate al oțelurilor pentru arcuri este prezentat în tabelul 5.49. Se menționează că unele surse din literatura de specialitate indică valori ale modulului de elasticitate, diferențiat pe mărci. Aceste date trebuie, însă, utilizate cu rezervă, deoarece - de regulă - se bazează pe un număr mic de determinări și nu sînt reprezentative.

Caracteristicile de rezistență de scurtă durată, determinate pe epruvete din bare tratate termic, sînt date în tabelul 5.50. Limita de elasticitate convențională ( $\sqrt{0,01}$ ) ar trebui să fie caracteristica de bază pentru calculul de rezistență al arcurilor sollicitate static. Datorită dificultăților de determinare a acesteia, de cele mai multe ori se utilizează în calculul de dimensionare a arcurilor tratate termic limita de curgere, afectată de un coeficient de siguranță corespunzător. În cazul arcurilor formate la rece din sîrme trase sau benzi laminate la rece, caracteristica de bază este rezistența la rupere. Date privind această caracteristică sînt indicate în tabelul 5.51.

TABELUL 5.50

| Marca<br>oțelului | Limita de<br>curgere $R_{p0,2}$<br>min.<br>N/mm <sup>2</sup> | Rezistența de<br>rupere la trac-<br>țiune, $R_m$<br>min. | Alungirea la<br>rupere, A<br>pentru<br>$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$<br>% |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| OLC 55 A          | 880                                                          | 1080                                                     | 6                                                                   |
| OLC 65 A          | 780                                                          | 980                                                      | 10                                                                  |
| OLC 75 A          | 880                                                          | 1080                                                     | 9                                                                   |
| OLC 85 A          | 980                                                          | 1130                                                     | 8                                                                   |
| 40 SI 17 A        | 980                                                          | 1180                                                     | 6                                                                   |
| 51 SI 17 A        | 1080                                                         | 1180                                                     | 6                                                                   |
| 51 VCr 11 A       | 1180                                                         | 1320                                                     | 6                                                                   |



TABELUL 5.50 (continuare)

| Marca<br>oțelului          | Limita de<br>curgere $R_{p0,2}$<br>min.<br>$N/mm^2$ | Rezistența de<br>rupere la trac-<br>țiune, $R_m$<br>min.<br>$N/mm^2$ | Alungirea la<br>rupere, $A$<br>pentru<br>$L_0 = 5,65\sqrt{s_0}$<br>% |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 56 Si 17 A                 | 1080                                                | 1270                                                                 | 6                                                                    |
| 60 Si 15 A                 | 1270                                                | 1470                                                                 | 6                                                                    |
| 65 Mn 10                   | 800                                                 | 1000                                                                 | 8                                                                    |
| 65 Si 2 WA <sup>x)</sup>   | 1700                                                | 1900                                                                 | 5                                                                    |
| 67 CrSi 12 A <sup>x)</sup> | 1350                                                | 1500                                                                 | 5                                                                    |

x)

Valori informative

Caracteristicile de rezistență ale oțelurilor pentru arcuri sînt strîns legate de călibilitatea lor. Benzile de călibilitate ale unor oțeluri aliate pentru arcuri, formate la cald, sînt date cu caracter informativ în fig. 5.12.

Rezistența la oboseală este o caracteristică de bază pentru calculul de dimensionare a arcurilor care lucrează în regim de sarcini variabile. Comportarea la oboseală a unui arc este influențată - în măsură hotărîtoare - de condițiile tehnologice în care a fost format (în special cele legate de tratamentul termic) și de mediul în care lucrează. În figura 5.13, de exemplu se prezintă rezistența la oboseală a oțelului OLC 85A. Folosirea, ca atare, a acestei caracteristici în calculul de dimensionare trebuie făcută cu prudență, deoarece aceasta nu reflectă, întotdeauna, comportarea reală la oboseală a arcului și conduce deseori la supradimensionări. În acest sens, se consideră drept elocvente datele din tabelul 5.52, referitoare la rezistența la oboseală atât a unor oțeluri pentru arcuri, cît și a unor arcuri ca atare.

Arcurile - destinate să lucreze în condiții de temperaturi ridicate-trebuie să fie confecționate din oțeluri stabile din punct de vedere metalurgic (structură și caracteristici) la aceste temperaturi. De regulă, aceste oțeluri trebuie să fie inoxidabile la temperatura și în mediul de utilizare respectiv și să nu-și modifice microstructura la temperaturi mai mari cu cca 100°C decît cele de lucru.

În calculul arcurilor, care vor lucra la temperaturi ridica-



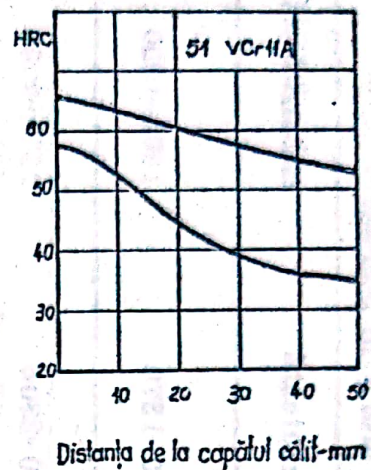
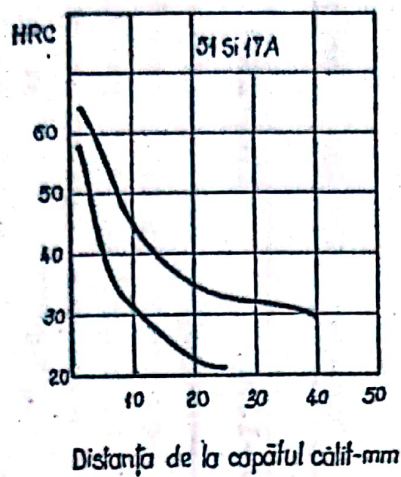


Fig. 5.12. Benzile de călibilitate (informative) ale unor oțeluri pentru arcuri

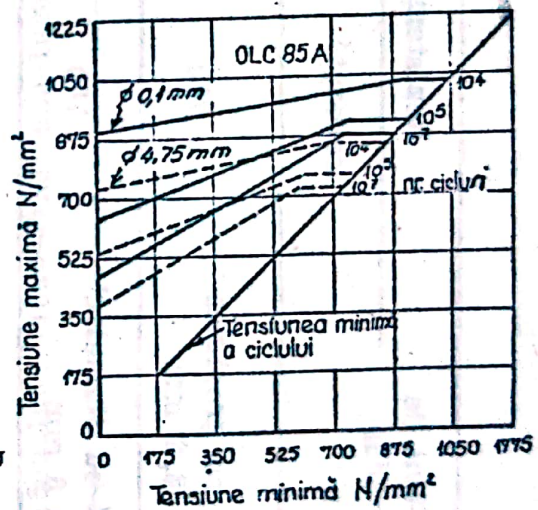
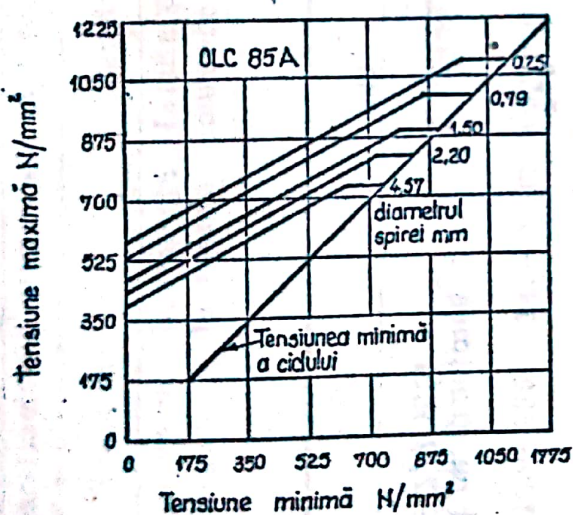


Fig. 5.13. Diagramele schematizate ale rezistenței la oboseală a oțelului OLC 85 A



TABELUL 5.51

| Marca<br>oțelului                      | Tipul de<br>produs                | Rezistența la rupere ( $N/mm^2$ ) în starea: |           |              |
|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|-----------|--------------|
|                                        |                                   | recoaptă                                     | ecruisată | îmbunătățită |
| OLC 65 A<br>OLC 75 A<br>OLC 85 A       | bandă cu grosimea<br>0,2 - 2,2 mm | 780                                          | 830-1370  | 1200-1600    |
|                                        | sîrmă cu diametrul<br>0,3 - 5 mm  | 780                                          | 1200-2800 | 1370-2000    |
| 60 Si 50 A<br>56 Si 17 A<br>51 Si 17 A | bandă cu grosimea<br>0,2 - 2,2 mm | 740                                          | 740-1180  | 1600-2000    |
| 51 VCr 11 A                            |                                   | 830                                          | 880-1470  | 1700-2300    |



TABELUL 5.52

U. M. = N/mm<sup>2</sup>

|               |                             | Caracteristicile statice ale oțelului încercat |                      |                   |                      |                                        | Caracteristicile la oboseală ale epruvetelor la sollicitarea de: |         | Caracteristicile la oboseală ale arcului solicitat la torsiune la ciclu pulsator |
|---------------|-----------------------------|------------------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Marca de oțel | Tracțiune                   |                                                |                      | Răsucire          |                      | Incovolare cu ciclu alternant simetric | Torsiune cu ciclu pulsator                                       |         |                                                                                  |
|               | Limita de proporționalitate | Limita de curgere                              | Rezistența la rupere | Limita de curgere | Rezistența la rupere |                                        |                                                                  |         |                                                                                  |
| OLC 65 A      | 750-900                     | 1000-1200                                      | 1500-1600            | 600-800           | 850-1100             | 300-400                                | 450-800                                                          | 500-650 |                                                                                  |
| OLC 85 A      | 800-1000                    | 1000-1350                                      | 1450-1700            | 650-900           | 1100-1400            | 350-400                                | 400-850                                                          | 500-700 |                                                                                  |
| 51VCr11 A     | 900-1000                    | 1500-1600                                      | 1600-1750            | 950-1000          | 1200-1300            | 500-550                                | 500-900                                                          | 550-600 |                                                                                  |



te, se va ține seama de caracteristicile de rezistență la căld și de relaxarea tensiunilor (figura 5.14).

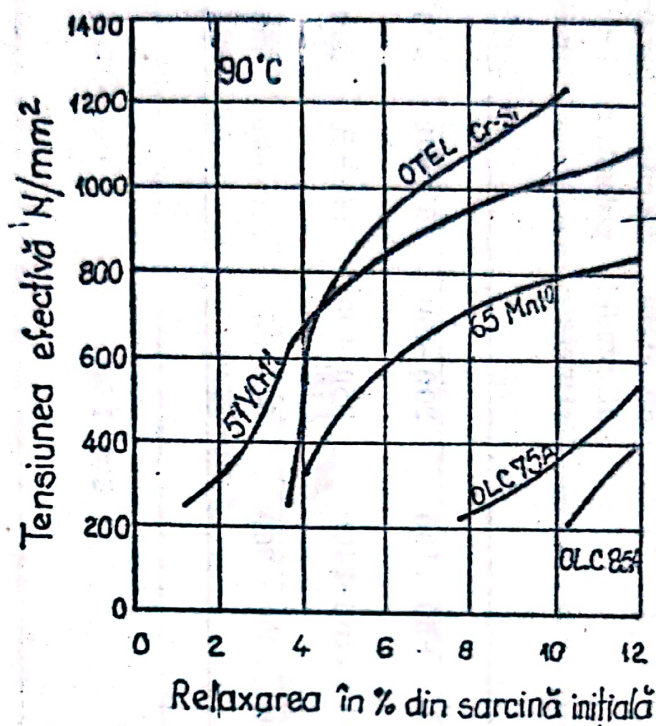


Fig. 5.14 Caracteristicile de relaxare ale unor oțeluri pentru arcuri

### 5.5. Oțelurile pentru rulmenți

În fabricația de rulmenți, problema folosirii oțelurilor a devenit practic rezolvată. Abordarea acestei categorii de oțeluri în lucrarea de față are scopul de a-l informa pe beneficiarul de rulmenți asupra proprietăților metalurgice ale oțelurilor acestora și, mai ales, să-l ajute pe proiectant în alegerea oțelurilor destinate organelor de mașini cu rol apropiat de al rulmenților ca: role de reazem și ghidare, paliere cu role, lagăre cu role sau bile, plase în contact cu role sau bile etc. Pentru aceste scopuri se folosesc oțelurile prezentate în tabelul 2.13; principalele lor domenii de utilizare și formele de livrare sînt conform tabelului 5.53.

Caracteristica de bază a oțelurilor pentru rulmenți este duritatea după tratamentul termic, proprietate al cărei nivel este influențat atât de temperatura de austenitizare, cît și de temperatura de revenire. Din acest punct de vedere, un rol însemnat îl are călibritatea oțelului. Spre deosebire de oțelurile clasice de îmbunătățire, că-



TABELUL 5.53

| Marca de oțel | Principalele domenii de utilizare                                                                                                                                                                                                                        | Formele de livrare                                                                                                              |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 55 SIMo       | Rulmenți la sapele de foraj                                                                                                                                                                                                                              | Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat                                                                                       |
| RUL 1         | Fabricarea rulmenților și a sculelor, ca: fillere, alezoare, dornuri pentru perforare, broșe mici, calibre de filet, supape, instrumente de măsură. La fabricarea rulmenților speciali pentru condiții grele de utilizare se folosește calitatea RUL 1 V | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat<br>Produse tubulare |
| RUL 2         | Fabricarea rulmenților de dimensiuni mai mari decât cei realizați din marca RUL 1. La fabricarea rulmenților speciali pentru condiții grele de utilizare se folosește calitatea RUL 2 V                                                                  | Produse plate laminate la rece<br>Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat                     |
| RUL 3 V       | Fabricarea rulmenților mari pentru care nu se folosesc mărcile RUL 1 și RUL 2                                                                                                                                                                            | Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare                                                                        |
| 3 CrNi 35     | Rulmenți grei cementați                                                                                                                                                                                                                                  | Profile laminate la cald<br>Semifabricate pentru forjare<br>Oțel calibrat                                                       |
| 20 MoCr 05    | Rulmenți radiali - axiali cu role conice, fabricați prin deformare la rece                                                                                                                                                                               | Profile laminate la cald<br>Oțel calibrat                                                                                       |



abilitatea la oțelurile pentru rulmenți se garantează prin valoarea minimă a durității, obținută pe proba Jominy la o distanță de capătul călit, specifică flecării mărcii de oțel. În tabelul 5.54 se prezintă valorile de duritate, măsurate la diferite distanțe de capătul călit, pentru oțelurile RUL 1 și RUL 2.

TABELUL 5.54

| Marca oțelului                  |      | RUL 1   | RUL 2   |
|---------------------------------|------|---------|---------|
| Distanța de la capătul răcit mm |      | 6,0     | 13,5    |
| Duritatea HRC                   |      | min. 61 | min. 61 |
| Temperatura de călire, °C       | apă  | 800-810 | 790-830 |
|                                 | ulei | 825-865 | 810-840 |

Se atrage atenția că durabilitatea rulmenților se reduce considerabil în condițiile creșterii temperaturii de revenire sau de utilizare. Un rol important în această privință îl au modificările dimensionale și de duritate, cauzate de menținerea îndelungată a materialului la temperatură ridicată. Pentru a ușura calculul de dimensionare a pieselor realizate din oțeluri de rulmenți, în tabelul 5.55 se prezintă principalele caracteristici ale acestor oțeluri atât în stare călită și revenită, cât și recoaptă.



TABELUL 5.55

| Marca de oțel                                                                                 | Starea materialului | Duritatea  | Rezistența la rupere<br>N/mm <sup>2</sup> | Rezistența la oboseală <sup>2)</sup> | Energia specifică la încovoiere prin șoc (epruvete necrestate) J/cm <sup>2</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| RUL 1                                                                                         | Călit și revenit    | 59 HRC     | 3200-3300 <sup>1)</sup>                   | 640                                  | 34-40                                                                            |
|                                                                                               |                     | 61 HRC     | 2700-2800 <sup>1)</sup>                   | 730                                  | 25-30                                                                            |
|                                                                                               |                     | 63 HRC     | 2500-2600 <sup>1)</sup>                   | 660                                  | 20-25                                                                            |
|                                                                                               | Recopt              | 170-207 HB | 600-750                                   | -                                    | -                                                                                |
| RUL 2                                                                                         | Călit și revenit    | 59 HRC     | 3200-3300 <sup>1)</sup>                   | 650                                  | 40-45                                                                            |
|                                                                                               |                     | 61 HRC     | 2900-3000 <sup>1)</sup>                   | 670                                  | 30-35                                                                            |
|                                                                                               |                     | 63 HRC     | 2700-2800 <sup>1)</sup>                   | 710                                  | 25-30                                                                            |
|                                                                                               | Recopt              | 170-217 HB | 600-780                                   | -                                    | -                                                                                |
| 1) Incercare de încovoiere a epruvetei cu secțiunea 10 x 10 mm; distanța între reazeme: 40 mm |                     |            |                                           |                                      |                                                                                  |
| 2) Incovoiere rotativă                                                                        |                     |            |                                           |                                      |                                                                                  |



## CAPITOLUL 6

### RECOMANDARI PRIVIND ALEGEREA OTELURILOR PENTRU CONSTRUCTII MECANICE

Gama mărcilor tipizate de oțeluri, destinate confecționării construcțiilor mecanice, este relativ vastă atât din punct de vedere al proprietăților de întrebuințare și tehnologice, cât și al compoziției chimice. În consecință, și prețurile lor de achiziționare și prelucrare variază de la o marcă la alta, precum și de la o piesă la alta. Pentru a decide alegerea ce trebuie făcută, este necesar să se țină seama de:

- comportarea în serviciu a pieselor și subansamblelor de mașini, ca de exemplu: un ax de transmisie, un arc, un șasiu, un batiu, o cutie de viteză sau un ansamblu piston - bolț - bielă - vilebriș;

- problemele pe care le ridică fabricația: ușurința de prelucrare, tratamentele termice și costul acestor operații;

- problemele pe care le ridică aprovizionarea tehnico-materială: frecvența utilizării sortimentului în întreprinderea prelucrătoare, cantitatea consumată anual pe fiecare sortiment, ușurința de aprovizionare (disponibilitate, restricții în utilizare) și preț de achiziționare.

Factorii principali, prin care se asigură o bună comportare în serviciu a piesei ce se proiectează, sînt următorii:

- cunoașterea cât mai precisă a solicitărilor statice și dinamice la care este supusă piesa, pentru a asigura o dimensionare, formă și stare a suprafeței corespunzătoare;

- stabilirea unui flux tehnologic de fabricație adecvat și asigurarea unor condiții corecte de funcționare;

- alegerea judicioasă a mărcii de oțel din care se confecționează piesa și stabilirea corectă a tratamentelor termice, termo-chimice și mecanice ce trebuie aplicate;

- rezolvarea problemelor particulare pe care le ridică, în unele cazuri, fenomene ca: uzura, coroziunea, șocurile mecanice sau termice, fragilitatea sau fluajul etc.

O piesă de mașină, supusă la eforturi statice de tracțiune, compresune sau forfecare, rezistă nelimitat - fără alte deformații decât



cele de natură elastică - cu condiția ca valoarea tensiunilor aplicate să nu depășească limita de curgere a oțelului respectiv pentru tipul de solicitare la care este supusă piesa. Dacă tensiunea ce se aplică piesei este mai mare ca limita de curgere a metalului, dar mai mică decât rezistența sa la rupere, piesa va suferi o deformare permanentă. În situația în care efortul suferit este superior rezistenței de rupere, se produce distrugerea piesei. Dacă oțelul nu este prea fragil și dacă piesa nu comportă creștături ascuțite această rupere se produce cu deformare.

În situația în care forțele aplicate sînt dinamice, piesa-de-și solicitată la eforturi situate sub limita de curgere a materialului din care este confecționată - se poate deforma periculos sau rupe fragil (ruperea producîndu-se brutal), fie fisura și distruge prin oboseală, fără sau cu o deformare slabă. Distrugerea pieselor sollicitate dinamic producîndu-se brutal, are deseori un accentuat caracter de gravitate, cu efecte uneori catastrofale, fiind cu atît mai periculoasă cu cît fisurile produse prin oboseală și momentul critic al inițierii propagării defectelor la rupere fragilă nu pot fi observate la timp pentru a putea preveni ruperea.

Din fericire, ruperea fragilă a pieselor și elementelor componente de mașini este un fenomen extrem de rar astăzi, cu excepția structurilor mecano-sudate, a recipientelor și aparatelor sub presiune. Într-adevăr, majoritatea pieselor de mașini, fiind supuse unor tratamente termice pentru îmbunătățirea proprietăților lor mecanice, posedă o reziliență suficient de ridicată pentru a nu fi predispuse la fragilitate.

În schimb, însă, oboseala stă la baza a peste 90% din rupe-rile în serviciu ale pieselor de mașini. Aceasta se datorează, în primul rînd, faptului că rezistența la oboseală nu este o constantă intrinsecă a unei mărci date de oțel, ceea ce face ca durabilitatea unei piese sollicitate dinamic să fie determinată nu numai de proprietățile mecanice ale materialului folosit, ci și de vitezele de solicitare și tensiunile suferite, de configurația geometrică și starea suprafeței piesei respective, precum și de defectele existente în material. Caracterul complex al fenomenului de oboseală l-a condus pe Hertel să afirme în prefața la tratatul său asupra acestui fenomen că dimensionarea unei piese - în condiții de oboseală-este mai mult o artă decât o știință.

Din acest fapt, rezultă că cercetările efectuate asupra diferitelor mărci de oțel și a tratamentelor termice ce li se aplică, în scopul de a asigura caracteristicii mecanice superioare pe piese a căror configurație geometrică este concepută neadecvat condițiilor de lucru sau a căror execuție este defectuoasă, constituie o soluție costisitoare și adesea ineficace.



Alegerea mărcii de oțel cu cea mai bună adaptare condițiilor de lucru - într-un caz dat - în domeniul construcțiilor mecanice trebuie, deci, să fie susținută și completată de conceperea unor piese de dimensiuni acceptabile și configurație geometrică prin care să se asigure o distribuție cât mai uniformă a tensiunilor, de adoptarea unor operații tehnologice prin care materialului să i se poată da forma finală necesară, fără a-i altera proprietățile, și de asigurarea unei structuri interne și stare a suprafeței adecvate condițiilor de utilizare. Ansamblul acestor măsuri trebuie să asigure prevenirea ruperilor brutale, cauzate - în primul rând - de oboseală la piesele de mașini și de fragilitate la structurile mecano-sudate și prin aceasta o deplină siguranță în serviciu a piesei, însoțită de o durabilitate satisfăcătoare.

În cadrul acestui ultim capitol, urmărim să punem la îndemâna proiectanților câteva recomandări cu caracter de concluzii la acest îndrumar, referitoare la alegerea rațională a mărcii de oțel, cea mai bine adaptată unor condiții de lucru date, valorificând elementele de alegere ce au fost prezentate pe larg în capitolele precedente.

#### 6.1. Oțeluri pentru recipiente, cazane și structuri mecano-sudate

Parametrul determinant pe care se bazează alegerea oțelurilor din această familie îl constituie rezistența lor față de ruperea fragilă în condiții de temperaturi scăzute, evidențiată prin nivelul temperaturii de tranziție.

##### 6.1.1. Semnificația temperaturii de tranziție

Datorită analogiei care există, în majoritatea țărilor europene, între temperaturile de încercare și cele de serviciu ( $+20$ ,  $\pm 0$  și  $-20^{\circ}\text{C}$ ), numeroși beneficiari ai produselor din oțeluri sudabile optează pentru o legare directă a temperaturii de serviciu de cea la care se garantează un anumit nivel minim al rezilienței sau al energiei de rupere prin șoc.

Din capul locului trebuie, însă, remarcat că o asemenea opțiune este lipsită de sens, determinarea temperaturii de tranziție depinzând - pe lângă temperatura de serviciu - și de alți factori cum sînt: grosimea tablei, viteza de sollicitare, valoarea limitelor de curgere și mărimea defectelor din material. Înțelegerea și valorificarea ierarhizării oțelurilor sudabile în funcție de temperatura de tranziție, adoptată și în documentele normative de standardizare de la noi din țară, este condiționată de abordarea problemei în mod complex și nu simplist, pu-



nînd semnul echivalent între temperatura de încercare și cea de serviciu.

Documentul elaborat în cadrul comisiei a IX-a I.I.S., acum mai bine de 20 de ani, care a reținut temperaturile de  $\pm 0$  și  $-20^{\circ}\text{C}$  asociate nivelului de 20 p.lvr ( $28 \text{ J} \rightarrow 35 \text{ J/cm}^2$ ) pe epruvete Charpy cu creștătură în V, preluate în sens longitudinal, precum și standardul britanic BS 2762, care clasifică oțelurile după același nivel de energie, dar adoptă o eșalonare diferită a temperaturilor de tranziție, pun în mod deosebit accentul pe cele relatate.

Diferența între calitățile definite, ca mai sus, printr-o temperatură de tranziție corelată cu un nivel de energie constant și a celea legate de o concepție diferită, bazată pe garantarea rezilienței la temperatura minimă de serviciu a construcției, trebuie să fie bine precizată dacă vrem să evităm orice confuzie între cele două moduri diferite de a pune problema.

În rîndul calităților definite printr-o garanție de reziliență la temperatura minimă de serviciu a construcției se numără, de exemplu, oțelul P5 - prevăzut în Registrul naval britanic Lloyd -, care se caracterizează printr-o insensibilitate accentuată la efectul de încreștare, în condițiile cele mai severe de utilizare din domeniul construcțiilor navale. Insensibilitatea la efectul de încreștare este garantată, printre altele, printr-un nivel de energie de  $49 \text{ J} \rightarrow 61 \text{ J/cm}^2$  a temperatura minimă de serviciu  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ . Această valoare de 49 J a fost stabilită în urma unei etalonări, care face să intervină nivelul energiei de rupere prin șoc, determinat, la temperatura fiecărui accident, pe epruvete preluate din table rupte în serviciu. Este de reliefat că Registrul Lloyd a menționat - cu ocazia acestei anchete statistice - că energiile de rupere la temperaturile la care s-au produs accidentele în serviciu variază mult și că este dificil să se diferențieze tablele corespunzătoare de cele necorespunzătoare.

Din cele prezentate, rezultă că:

- determinarea unui nivel al rezilienței, care să permită - prin intermediul verificărilor efectuate la temperatura minimă de serviciu - eliminarea elementelor bănuite a avea o comportare fragilă la această temperatură, presupune o experimentare prealabilă directă asupra metalului care provine din construcții analoage;

- adoptarea acestui nivel, drept criteriu de recepție, antrenează rebutarea sau declasarea unui procentaj ridicat de produse, în principiu apte de a fi întrebuințate în condițiile respective.

Această dispersie se explică ușor, în funcție de alura curbelor de tranziție (fig. 6.1). Dacă 1 este curba de tranziție limită a tablelor susceptibile de a prezenta ruperi fragile în serviciu, stabilită -



după cum s-a arătat - plecând de la un nivel  $E_g$ , clasificarea bazată pe acest nivel la temperatura minimă de serviciu  $t$  va conveni mărcilor de oțel 2 și 3 ale căror curbe de tranziție au o formă analoagă curbei 1 a oțelului A; din contră, un oțel de tip B, a cărei parte superioară a curbei de tranziție prezintă o formă destul de aplatizată pentru a intersecta verticala din dreptul temperaturii de serviciu sub acest punct, va fi declassat, deși prezintă o situație mai favorabilă din punct de vedere al temperaturii de tranziție asociată unui nivel al energiei  $E_t$  de 28 J, care corespunde unei poziții superioare în ceea ce privește riscul față de ruperea fragilă.

Acest aspect al problemei a fost clar subliniat în lucrările cercetătorilor de la NBS, care au studiat foarte aprofundat posibilitățile de a ierarhiza calitățile, plecând de la nivelurile energiei de rupere prin șoc, determinate pe epruvete preluate din elementele accidentale, la temperaturile la care s-au produs accidentele; rezultatele numerice obținute se suprapun, într-o manieră surprinzătoare, peste cele obținute de cercetătorii de la Registrul Lloyd. În final, însă ei au abandonat această cale și au reținut metoda clasificării în funcție de temperatura de tranziție, legată de un nivel constant.

Registrul Lloyd apreciază că o clasificare pe baza unei încercări de reziliență, efectuată la temperatura minimă de serviciu, ar fi în final mai bine făcută pe un alt criteriu decât acela al nivelului energiei de rupere; după lucrările efectuate sub egida Registrului Lloyd, gruparea în două categorii net distincte a tablelor apte și a celor suspecte de o comportare fragilă în condițiile de utilizare ale oțelului P<sub>5</sub> ar fi mai bine realizată pe baza procentului de rupere fibroasă, decât pe baza unui nivel ridicat al energiei de rupere. Și în acest caz, însă, stabilirea criteriului etalon implică încercări prealabile pe elemente ce provin din structurile accidentate.

Puse în fața problemei de a adopta o clasificare a oțelurilor destinate unor utilizări diferite, care nu justifică o experimentare directă - valabilă pentru fiecare caz particular în parte - ca în cazul studiului efectuat de Registrul Lloyd pentru marca de oțel P<sub>5</sub>, organisme internaționale și cele naționale s-au raliat, logic, punctului de vedere exprimat de cercetătorii de la NBS.

Dealtfel, propunerea lor nu se află în contradicție cu celelalte soluții, în măsura în care este permis să se exprime global, printr-o scădere a temperaturii de tranziție, măsurată pe o epruvetă de tip determinat, o creștere a siguranței legată de o accentuare a stării triaxiale de tensiuni și o funcționare la temperatură cât mai joasă.



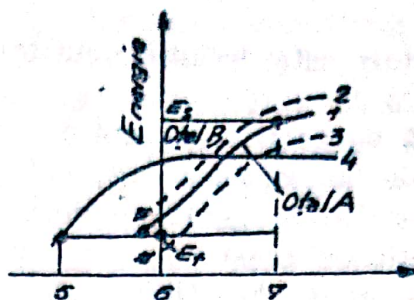


Fig. 6.1. Explicația grafică a dispersiei rezultatelor încercării de încovoiere prin șoc, în funcție de criteriul adoptat

- $E_s$  - nivelul minim al energiei de rupere prescris la temperatura minimă de serviciu;  $E_f$  - nivelul minim al energiei de rupere (21/28J) corespunzător temperaturii de tranziție a oțelului; 1 - curbă de tranziție corespunzătoare unui oțel după criteriul minim de etalonare la temperatura de tranziție; 2 - curbă de tranziție corespunzătoare unui oțel ce satisface atât prescripția referitoare la un nivel al energiei impus la temperatura de serviciu, cât și pe aceea referitoare la criteriul de energie corespunzătoare temperaturii de tranziție a oțelului;
- 3 - curbă de tranziție corespunzătoare unui oțel ce nu satisface nici una din prescripții;
- 4 - curbă de tranziție corespunzătoare unui oțel care, deși nu satisface prescripția referitoare la nivelul minim al energiei impus la temperatura de serviciu, are o bună comportare față de ruperea fragilă, datorită temperaturii coborâte de tranziție; 5 - temperatura de tranziție, oțelul B; 6 - temperatură de tranziție, impusă; 7 - temperatura minimă de serviciu,  $t$ ; oțelul A - oțel corespunzător unei curbe de tranziție la limita acceptabilă; oțelul B - oțel cu o comportare superioară față de ruperea fragilă.

Clasificarea oțelurilor se face, în acest caz, printr-o temperatură de tranziție variabilă, asociată unui nivel constant al energiei de rupere, determinat prin experimentări cu caracter statistic. Diferitele organisme naționale și internaționale au adoptat valori diferite pentru nivelul energiei de rupere, considerat ca fiind legat de temperatura de tranziție (valorile cele mai frecvent întâlnite sînt 21 și 28 J). Clasa de



calitate a diferitelor oțeluri este definită prin temperaturile asociate acestor niveluri.

Diferența față de vechea concepție, bazată pe clasificarea în funcție de procedeul de fabricație sau gradul de dezoxidare, este marcată între altele prin abandonarea scăderii descrescătoare a nivelurilor de reziliență în funcție de creșterea rezistenței oțelurilor. Se știe, într-adevăr, că un nivel dat de ductilitate este cu atât mai dificil de obținut cu cât rezistența metalului este mai ridicată. Problema a fost menționată de W.S. Pellini și rămâne de stabilit dacă nu este justificat să se nuanțeze valorile nivelului, în funcție de marca de oțel ce urmează a fi clasificată.

Modificarea constă în a stabili, generalizând scara normelor, o coincidență între temperatura de tranziție și cea de serviciu. Anterior, au fost prezentate condițiile severe impuse de Registrul Lloyd calității P5, în dorința de a răspunde unui criteriu de această natură. Se pune, însă, întrebarea dacă - urmărind un obiectiv prea ambițios - un document normativ, care definește mărcile și calitățile de oțel destinate unor utilizări cât mai variate, nu riscă să-și piardă semnificația. Siguranța de atins prin această modificare riscă să devină iluzorie în absența unei etalonări care să țină seama de fiecare caz specific de construcție inginerescă. Admițând că această etalonare ar fi realizabilă, se pune întrebarea ce valori ar trebui să atingă nivelurile asociate temperaturilor minime de serviciu, când exemplul construcțiilor navale a arătat că revendică pentru un oțel cu  $400...490 \text{ N/mm}^2$  rezistență la rupere, un nivel de 49 J la  $\pm 0^\circ\text{C}$ . Este oare justificat să se admită inconvenientele legate de creșterea nivelului energiei de rupere prin șoc, când se știe că se poate obține aceeași garanție cu prețul unor procente mai reduse de declasate, asociind unui nivel mai puțin ridicat o temperatură de tranziție mai joasă?

Toate aceste considerente au condus la adoptarea în documentele noastre normative de standardizare a nivelului de 28 J, recomandat de I.I.S., care este superior celui de 21 J, propus de National Bureau of Standards (S.U.A.)

În ceea ce privește stabilirea legăturii dintre temperatura de tranziție a oțelului și temperatura de serviciu a unei structuri, problema rămâne exclusiv de competența proiectantului, care însă trebuie să înțeleagă bine semnificația criteriilor de ierarhizare a oțelurilor din punctul de vedere al riscului față de ruperea fragilă.

De la cercetările efectuate la NBS, ale căror concluzii au modificat fundamental cunoștințele referitoare la rezistența oțelurilor față de ruperea fragilă, au trecut mai bine de 30 de ani. Între timp, s-a dezvoltat o nouă disciplină, mecanica ruperii, care a acumulat noi



cunoștințe în domeniu. Valorificând cercetările efectuate cu colaborarea experților din industria siderurgică, de la Biroul Veritas și Biroul de Standardizare al Siderurgiei (BNS), cercetătorii de la IRSID (Franța) au dezvoltat și pus la punct o metodă de alegere a calității oțelurilor pentru structuri mecano-sudate, recipiente și cazane, bazată pe prevenirea riscului de rupere fragilă. Această metodă care, în funcție de grosimea tablei, tipul solicitării, temperatura de serviciu a construcției și limita de curgere a oțelului, stabilește temperatura la care energia de rupere prin șoc trebuie să aibă valoarea de 28 J pentru ca un defect de anumite dimensiuni, existent în material, să nu se propage, a fost standardizată în Franța, în anul 1980<sup>x)</sup>. În cele ce urmează, prezentăm această metodă modernă, extrem de interesantă și utilă.

#### 6.1.2. Metodă de alegere a calităților de oțel pentru structuri mecano-sudate, recipiente și cazane pentru prevenirea riscului de rupere fragilă

##### 6.1.2.1. Considerații generale

Această metodă se aplică oțelurilor carbon, slab aliate, și aliate - cu limită de curgere minimă garantată cuprinsă între 235 și 690 N/mm<sup>2</sup> - destinate executării de structuri mecano-sudate au construcției de cazane și aparate sub presiune și, mai ales, acelor care sînt definite prin următoarele standarde:

- STAS 500/2 și 500/3 - Oțeluri de uz general pentru construcții - mărci - și, respectiv, oțeluri de uz general pentru construcții rezistente la coroziune atmosferică - mărci;
- STAS 2883/2 - Oțeluri destinate tablelor de cazane și recipiente sub presiune pentru temperatura ambiantă și scăzută - mărci și condiții tehnice de calitate;
- STAS 2883/3 - Oțeluri destinate tablelor de cazane și recipiente sub presiune pentru temperatura ambiantă și ridicată - mărci și condiții tehnice de calitate;
- STAS 9021 - Table din oțel cu granulație fină pentru construcții sudate - mărci și condiții tehnice de calitate;
- STAS 10382 - Oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi scăzute - mărci și condiții tehnice de calitate;
- STAS 11502 - Table groase pentru recipiente sub presiune cu condiții speciale de calitate - mărci;
- STAS 11505 - Table și benzi pentru lonjeroane.

x) Standardul francez NFA 36-010



Metoda se bazează pe cunoștințele actuale în domeniul mecanicii lineare elastice a ruperii și, în mod deosebit, pe faptul că acestea pun în evidență un parametru  $K_{IC}$ , care permite să se asocieze tensiunilor aplicate o mărime critică a defectelor.

Principiul metodei constă în asigurarea că oțelul posedă o temperatură convențională de tranziție - ținând seama de efectul grosimii, nivelului tensiunii și al vitezei de solicitare - în așa fel încât, la temperatura minimă de serviciu, nu există riscul de rupere fragilă atât timp cât eventualele defecte din structură rămân inferioare unor dimensiuni critice, stabilite în funcție de grosime.

Alegerea calităților de oțel se face parcurgând mai multe etape:

1. Se determină valoarea  $K_{IC}$  minimă pe care trebuie să o posede metalul la temperatura de serviciu, pentru ca un defect de dimensiuni cunoscute să nu provoace ruperea.

Ipotezele făcute, în acest caz, sînt că metalul lucrează în condiții de deformare plană (grosime mare), că el este supus unor solicitări statice și că tensiunea aplicată perpendicular pe defect este egală cu limita de curgere a materialului.

2. Se determină temperatura la care reziliența KV trebuie să aibă o valoare de 28 J pentru ca, la temperatura de serviciu, metalul să aibă o valoare a lui  $K_{IC}$  egală cu cea definită precedent. Acest lucru se face pe baza corelării, stabilite de către IRSID, între  $K_{IC}$  și reziliență.

Ipotezele în acest stadiu al calculului sînt cele din etapa precedentă.

3. Se ia în seamă efectul vitezei de aplicare a sarcinii.

4. Se ia în considerare efectul grosimii tablei.

5. Se ia în seamă coeficientul de încărcare.

Parcurgînd aceste etape, este posibil să se definească o temperatură de tranziție TK28 la care reziliența KV este egală cu 28 J și garantează neruperea structurii, dacă eventualul defect existent în structură are dimensiuni mai mici decît acelea ale defectului critic calculat.

Pe această bază, se pot trasa abace care dau temperatura TK28 la care reziliența trebuie să fie mai mare sau egală cu 28 J, în funcție de limita de curgere a metalului, de grosimea sa, de temperatura de serviciu și de tipul solicitării (statică sau dinamică). Se poate, de asemenea, calcula corecția care trebuie adusă temperaturii TK28 cînd coeficientul de încărcare este mai mic decît 1.



6.1.2.2. Dimensiunile defectelor admisibile

Dimensiunile maxime ale defectelor ce se pot tolera într-o structură sînt date în tabelul 6.1 pentru fisurile care traversează întreaga grosime a produsului și în tabelul 6.2 pentru fisurile de suprafață (adîncimea este notată cu  $a$ , iar lungimea pe suprafață cu  $2c$ ).

TABELUL 6.1

| Grosimea $t$ , mm                                 | 110 | 60 | 30 | 10 |
|---------------------------------------------------|-----|----|----|----|
| Lungimea admisibilă a defectului transversant, mm | 28  | 15 | 8  | 5  |

TABELUL 6.2

| Grosimea<br>mm | $\frac{a}{c}$         |                       |                       |                        |                       |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
|                | 1                     | 0,5                   | 0,3                   | 0,2                    | 0 1                   |
| 110            | $a=26,1$<br>$2c=52,2$ | $a=14,5$<br>$2c=58,0$ | $a=11,5$<br>$2c=76,7$ | $a=10,3$<br>$2c=103,0$ | $a=9,5$<br>$2c=190,0$ |
| 60             | $a=13,9$<br>$2c=27,8$ | $a=7,7$<br>$2c=30,8$  | $a=6,1$<br>$2c=40,7$  | $a=5,5$<br>$2c=55,0$   | $a=5,0$<br>$2c=100,0$ |
| 30             | $a=7,6$<br>$2c=15,2$  | $a=4,2$<br>$2c=16,8$  | $a=3,3$<br>$2c=22,3$  | $a=3,0$<br>$2c=30,0$   | $a=2,8$<br>$2c=55,0$  |
| 10             | $a=4,6$<br>$2c=9,2$   | $a=2,6$<br>$2c=10,4$  | $a=2,0$<br>$2c=13,5$  | $a=1,8$<br>$2c=18,0$   | $a=1,7$<br>$2c=33,0$  |

Lungimile acestor defecte sînt puse în evidență prin figurile 6.2 și 6.3.



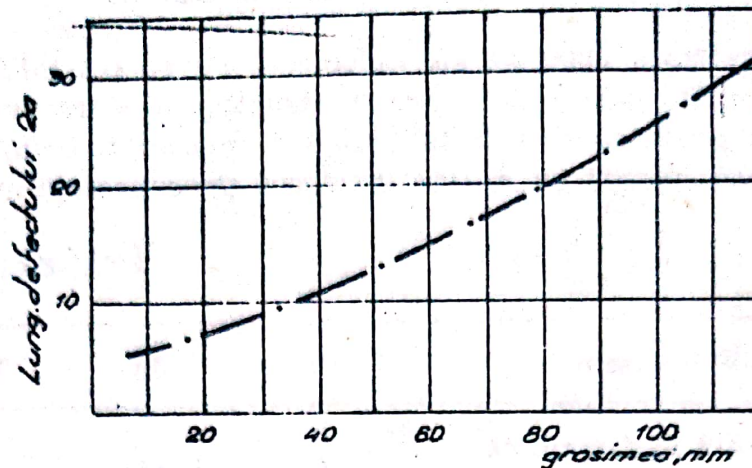


Fig.6.2. Variația lungimii 2a a defectului transversant, admisibil, cu grosimea produsului

#### 6.1.2.3. Alegerea calităților de oțel

Condiția ca o rupere să nu se producă - plecând de la defectele definite mai sus - sub efectul unei tensiuni  $\sigma$ , perpendiculară pe defect, la limita de curgere  $R_c$  a materialului, se scrie:

$$T_s \geq 1,4TK28 + \beta(R_c) + 25 + \Delta T_g + \Delta T_v \quad (6.1)$$

Semnificația simbolurilor din formula (6.1) este următoarea:

- $T_s$  = temperatura minimă de serviciu;
- TK 28 = temperatura la care energia de rupere prin șoc, KV, trebuie să fie mai mare sau egală cu 28 J;
- $\beta(R_c)$  = o funcție de limită de curgere a materialului a cărei expresie este:

$$= \beta_{60} \ln \left( \frac{R_c}{360} - \frac{1}{3} \right) \quad (6.2)$$

In cadrul metodel, s-a luat ca valoare a lui  $R_c$ , valoarea garantată prin standardele de produs pentru flecare marcă + 50N/mm<sup>2</sup>;

- $\Delta T_g$  = o funcție de grosimea produsului, definită prin:

$$\begin{aligned} \Delta T_g &= 0 && \text{pentru } g \geq 110 \text{ mm} \\ \Delta T_g &= 0,53g - 59 && \text{pentru } 110 > g \geq 60 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6.3)$$



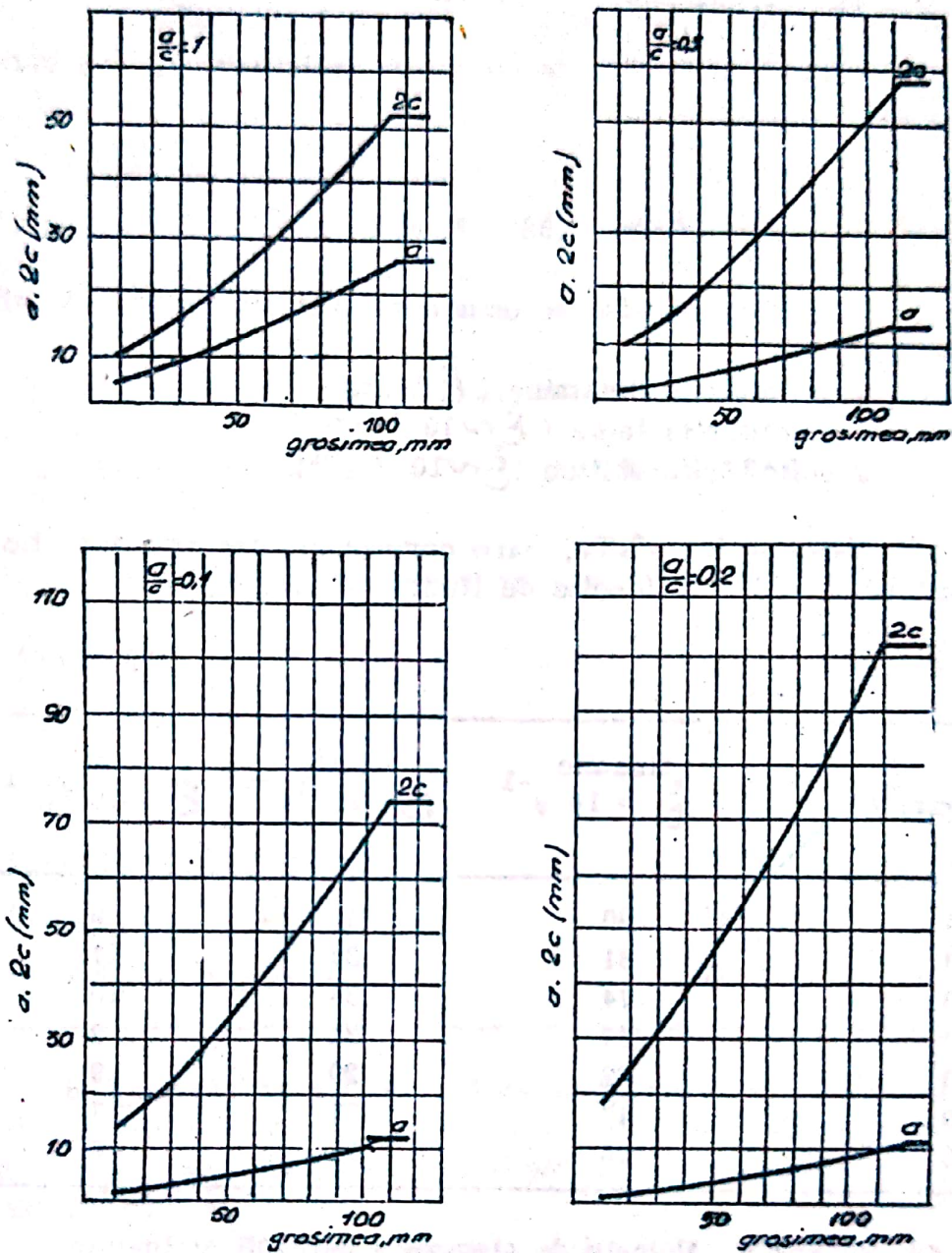


Fig.6.3. Variația adâncimii și a lungimii  $2c$  a defectelor superficiale, semieliptice, admisibile, în funcție de grosimea produsului pentru forme diferite ale defectelor



$$T_g = 0,97g-85$$

pentru  $60 > g \geq 30$  mm

$$T_g = 1,80g-110$$

pentru  $30 > g \geq 10$  mm

\* $\Delta T_v$  = o funcție de viteză de solicitare  $\dot{\epsilon}^x$  a cărei expresie este:

$$\Delta T_v = (83 - 0,08R_o) \dot{\epsilon}^{0,17} \quad (6.4)$$

În cadrul metodelor se consideră trei mari tipuri de viteze de solicitare:

- solicitările dinamice ( $\dot{\epsilon} \sim 10s^{-1}$ );
- solicitările lente ( $\dot{\epsilon} \sim 10^{-1}s^{-1}$ );
- solicitările statice ( $\dot{\epsilon} \sim 10^{-4}s^{-1}$ ).

Valorile lui  $\Delta T_v$ , care corespund acestor viteze tip, sînt date în tabelul 6.3, în funcție de limita de curgere  $R_c$ .

TABELUL 6.3

| $R_c$ (N/mm <sup>2</sup> ) \ $\dot{\epsilon}$ | dinamic<br>$\dot{\epsilon} = 10 s^{-1}$ | lent<br>$\dot{\epsilon} = 10^{-1} s^{-1}$ | static<br>$\dot{\epsilon} = 10^{-4} s^{-1}$ |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 280                                           | 90                                      | 41                                        | 13                                          |
| 350                                           | 81                                      | 37                                        | 11                                          |
| 410                                           | 74                                      | 34                                        | 10                                          |
| 470                                           | 67                                      | 31                                        | 9                                           |
| 510                                           | 62                                      | 29                                        | 9                                           |
| 640                                           | 47                                      | 21                                        | 7                                           |
| 740                                           | 35                                      | 16                                        | 5                                           |

#### 6.1.2.4. Abacele de alegere a calității oțelurilor

Aceste condiții de alegere a calității oțelurilor sînt sintetizate prin abacele prezentate în figurile 6.4 - 6.9. Aceste abace permit ca, plecînd de la:

- marca oțelului, definită prin limita de curgere,
- temperatura minimă de serviciu și
- tipul solicitării (dinamic, lent sau static),

x) În general, solicitările se consideră ca fiind dinamice; totuși, cînd calculul permite să se determine într-o manieră precisă viteza de solicitare, se poate lua în seamă tipul particular de solicitare.



să se stabilească temperatura la care trebuie efectuată încercarea de reziliență (clasa oțelului).

a. Abaterile datorate coeficientului de încărcare Abacele prezentate în figurile 6.4-6.9 corespund unei tensiuni aplicate defectului, egală cu limita de curgere a materialului. Când coeficientul de încărcare (raportul între tensiunea efectiv aplicată,  $\sqrt{\sigma_{ef}}$  și limita de curgere a materialului,  $R_c$ ) nu este egal cu 1, temperatura TK28, determinată cu ajutorul abacelor, se poate corecta. Valorile ratelor de corecție sînt date în tabelul 6.4.

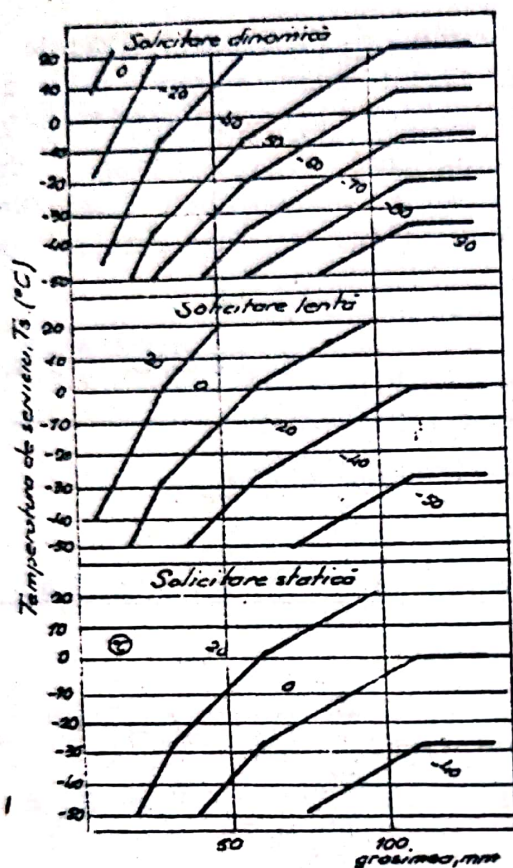
TABELUL 6.4.

| $\sqrt{\sigma_{ef}/R_c}$                  | Rata de corecție<br>°C |
|-------------------------------------------|------------------------|
| $0,85 \leq \sqrt{\sigma_{ef}/R_c} \leq 1$ | 0                      |
| $0,70 \leq \sqrt{\sigma_{ef}/R_c} < 0,85$ | 10                     |
| $0,60 \leq \sqrt{\sigma_{ef}/R_c} < 0,70$ | 20                     |
| $0,50 \leq \sqrt{\sigma_{ef}/R_c} < 0,60$ | 30                     |
| $0,40 \leq \sqrt{\sigma_{ef}/R_c} < 0,50$ | 40                     |
| $0,35 \leq \sqrt{\sigma_{ef}/R_c} < 0,40$ | 50                     |
| $0,30 \leq \sqrt{\sigma_{ef}/R_c} < 0,35$ | 60                     |

b. Exemplu de aplicare. Spre exemplificare, să considerăm abaca din figura 6.7 referitoare la un oțel cu limita de curgere de 420 N/mm<sup>2</sup> și să luăm cazul unei temperaturi de serviciu de -10°C și o grosime a tablei de 50 mm.

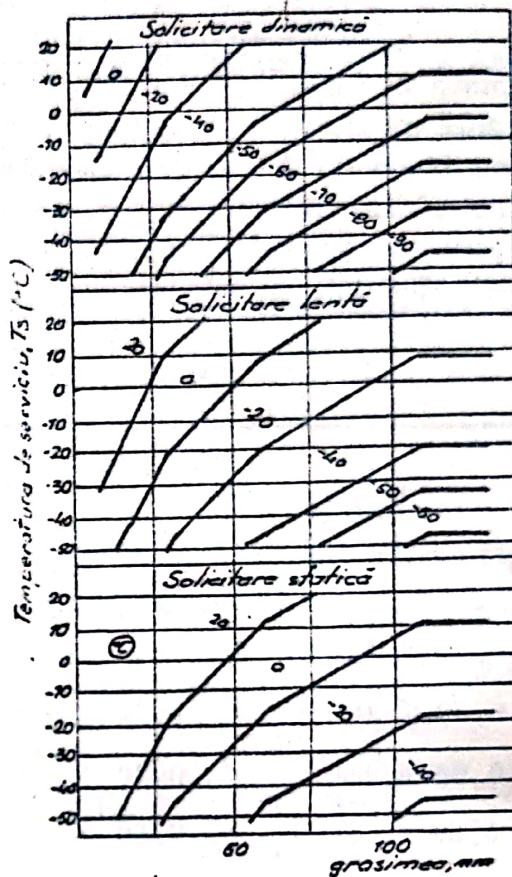
Dacă solicitarea este dinamică, oțelul trebuie să posedă o energie de rupere prin șoc, KV, de 28 J la -50°C când tensiunea este egală cu limita de curgere, pentru a nu se produce ruperea plecînd de la un defect transversant de 12 mm lungime sau plecînd de la un defect superficial care are una din dimensiunile date mai jos (sau orice alte dimensiuni compatibile care se pot interpola plecînd de la aceste valori):





Oțeluri cu limita de curgere minim garantată de  $235 \text{ N/mm}^2$  (exemplu: oțelurile OL 37, R 37)

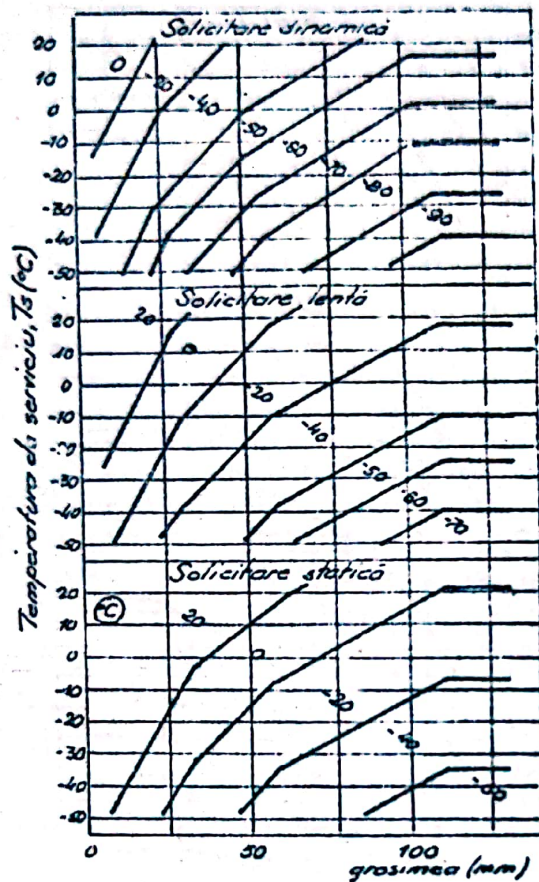
Fig. 6.4. Abacă indicînd la ce temperatură reziliența trebuie să fie superioară sau egală cu 28J pentru un oțel care lucrează la o temperatură  $T_s$  și are o grosime dată (abaca a fost calculată pentru  $R_c = 280 \text{ N/mm}^2$ )



Oțeluri cu limita de curgere minim garantată de  $295 \text{ N/mm}^2$  (exemplu: oțelurile 09 Mn 16, OL 44, OCS 44)

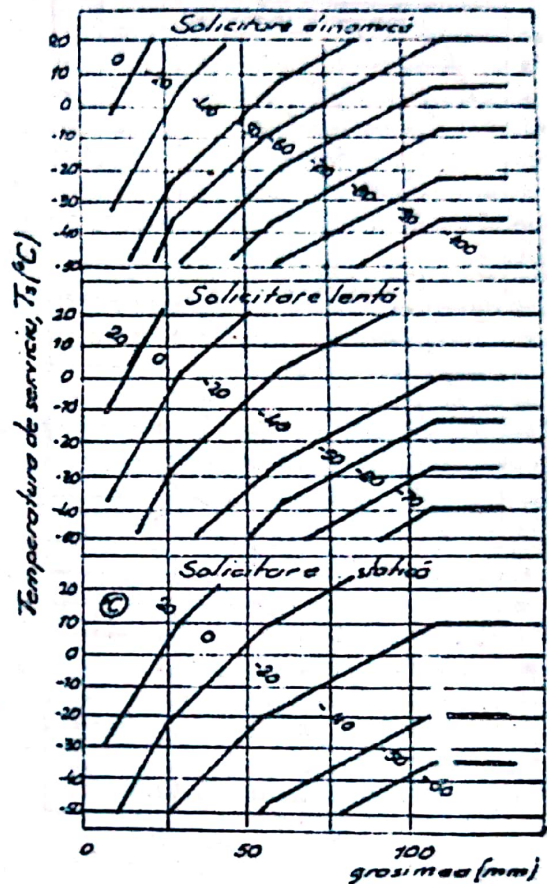
Fig. 6.5. Abacă indicînd la ce temperatură reziliența trebuie să fie mai mare sau egală cu 28J pentru un oțel care lucrează la o temperatură  $T_s$  și are o grosime dată (abaca a fost calculată pentru  $R_c = 350 \text{ N/mm}^2$ )





Oțeluri cu limita de curgere minim garantată de  $355 \text{ N/mm}^2$  (exemplu: oțelul OL 52, OCS 52, R 52)

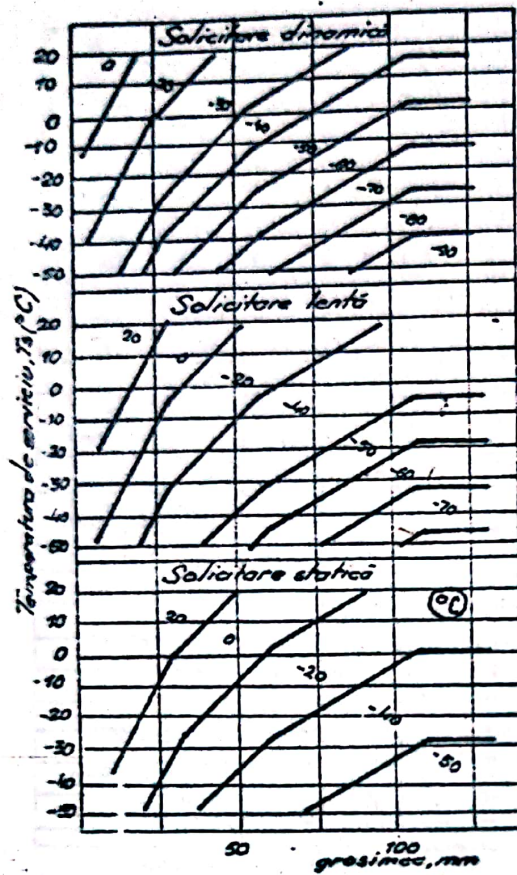
Fig. 6.6. Abacă indicînd la ce temperatură reziliența trebuie să fie superioară sau egală cu 28J pentru un oțel care lucrează la o temperatură  $T_s$  și are o grosime dată (abaca a fost calculată pentru  $R_C=410\text{N/mm}^2$ )



Oțeluri cu limita de curgere minim garantată de  $420\text{N/mm}^2$  (exemplu: L 42, OCS 55, R 55)

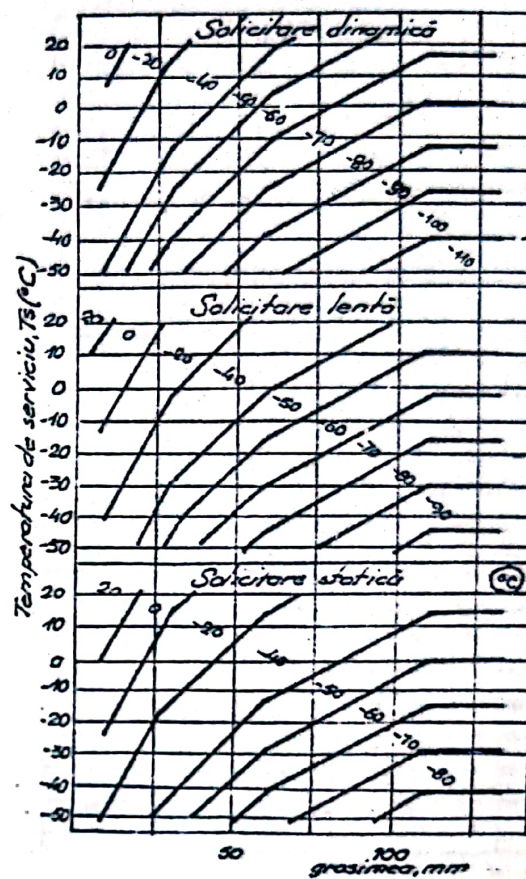
Fig. 6.7. Abacă indicînd la ce temperatură reziliența trebuie să fie superioară sau egală cu 28J pentru un oțel care lucrează la o temperatură  $T_s$  și are o grosime dată (abaca a fost calculată pentru  $R_C=470\text{N/mm}^2$ )





Oțeluri cu limita de curgere minim garantată de  $460 \text{ N/mm}^2$  (exemplu: OCS 58, R 58)

Fig. 6.8. Abacă indicînd la ce temperatură reziliența trebuie să fie mai mare sau egală cu 28 J pentru un oțel care lucrează la o temperatură  $T_s$  și are o grosime dată (abaca a fost calculată pentru  $R_c = 510 \text{ N/mm}^2$ )



Oțeluri cu limita de curgere minim garantată de  $690 \text{ N/mm}^2$  (exemplu: OCS 90)

Fig. 6.9. Abacă indicînd la ce temperatură reziliența trebuie să fie mai mare sau egală cu 28 J pentru un oțel care lucrează la o temperatură  $T_s$  și are o grosime dată (abaca a fost calculată pentru  $R_c = 740 \text{ N/mm}^2$ )



Adâncime

11,5

6,5

5,2

4,7

Lungime

23

26

35

47

Dacă, din contră, tensiunea efectiv aplicată nu este egală decât cu  $2/3$  din limita de curgere se poate aplica o abatere de  $20^{\circ}\text{C}$ , adică să nu se ceară o reziliență de 28 J decât la  $-30^{\circ}\text{C}$ ; dacă tensiunea nu este egală decât cu  $1/2 R_{\sigma}$ , energia de rupere trebuie cerută la  $-20^{\circ}\text{C}$ .

c. Condițiile de folosire a abacelor. Metoda prezentată permite să se asocieze unui material dat, unei grosimi, unei temperaturi de serviciu și unei viteze de solicitare, o temperatură la care energia de rupere prin șoc, KV, trebuie să aibă o valoare minimă de 28 J pentru ca un defect de dimensiuni cunoscute să nu se propage.

Este evident că în cazurile dificile (fisuri de colț, câmp de tensiuni neuniform etc.) este prudent să se refacă raționamentul din studiul efectuat la IRSID, aplicându-l la cazul particular ce trebuie analizat, dacă se vrea să se cunoască exact mărimea defectelor admisibile. Aceasta este cu atât mai util cu cât reziliența ce se obține la temperatura TK28 este mai apropiată de 28 J.

Trebuie menționat, în sfârșit, că valorile garantate ale rezilienței sînt acelea pe care trebuie să le posede metalul în vîrf defec-tului critic, deci în condițiile de exploatare ale acestuia și în parti-cular, după prelucrare. Cunoșcînd deci temperatura la care reziliența trebuie să fie mai mare ca 28 J, proiectantul trebuie să aleagă tablele din oțel de o asemenea manieră, încît după executarea structurii, meta-lul să aibă reziliența de 28 J la această temperatură. Cu alte cuvinte, trebuie să se țină seama de orice fragilizare care ar putea să se pro-ducă în timpul procesului de fabricație ca, de exemplu, cea datorată ecrulsării - îmbătrînirii.

### 6.1.3. Alegerea oțelurilor sudabile din punct de vedere al proprietăților de rezistență

#### 6.1.3.1. Oțeluri pentru structuri mecano-sudate

Oțelurile sudabile din familia OL și OCS sînt oțelurile des-tinate, în principal, acestor întrebunțări.

În cazul structurilor fixe, greutatea are mai puțină impor-



tanță și se recomandă ca proiectanții să se îndrepte cu precădere spre mărcile OL 37, OL 44 și OL 52, ca și spre OCS 44 și OCS 52. Alegerea definitivă depinde, în cea mai mare măsură, de asigurarea celei mai bune sudabilități globale, posibile, a structurii în ansamblul ei. La aceasta contribuie, însă, două fenomene contrarii:

- pe măsură ce limita de curgere se mărește, conținutul de carbon și elemente de aliere crește și sudabilitatea se înrăutățește;
- pe măsură ce limita de curgere se mărește, grosimea tablei utilizată se diminuează și sudabilitatea se îmbunătățește.

Numai calculul cantitativ este cel care furnizează, în fiecare caz, elementele necesare deciziei, privind departajarea soluțiilor, proiectantul avînd interesul să prevadă în proiecte, în toate cazurile în care acest lucru este posibil, table cu grosimea între 5 și 15 mm.

Pentru structurile mobile, cum sînt vagoanele de cale ferată sau autocamioanele, greutatea constituie dușmanul nr.1. Proiectanții, trebuie deci, să utilizeze - în cazul acestora - chiar cu riscul unor dificultăți suplimentare de prelucrare și sudare, mărci de oțeluri a căror limită de curgere este cît mai ridicată posibil, alegînd - după caz - între L 42, OCS 55, OCS 58 și OCS 90.

Intrucît, însă, în cazul mărcilor de oțel OCS 55, OCS 58 și OCS 90 standardele nu precizează decît destul de aproximativ compoziția lor chimică, proiectanții vor trebui să dovedească o atenție mărită pentru stabilirea exactă, în fiecare caz, a compoziției chimice și a tratamentului aplicat de furnizor tablei utilizate, întrucît aceste elemente condiționează - în mod decisiv - comportarea sa la sudare și în serviciu.

#### 6.1.3.2. Oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune

Presiunea și temperatura sînt principalele criterii de alegere a mărcii de oțel pentru cazane, în timp ce pentru recipiente și aparate sub presiune, care lucrează la temperaturi mai mult sau mai puțin joase, criteriile sînt presiunea, temperatura și sudabilitatea.

În aceste două cazuri, marea majoritate a aparatelor se află sub controlul și în supravegherea Inspectoratului de Stat pentru Cazane și Instalații de Ridicat (ISCIR), avînd în vedere pericolul pe care-l prezintă aceste aparate, dacă ele nu sînt concepute și confecționate corespunzător.

#### 6.1.3.3. Oțeluri pentru utilaje tehnologice

Elementele sudate ce intră în componența acestor utilaje



sînt, în numeroase cazuri, în mișcare; de aici, rezultă interesul proiectantului de a le ușura cît mai mult posibil. În plus, trebuie să se țină seama de faptul că plesile din această categorie sînt, deseori, solicitate la niveluri care depășesc eforturile pentru care au fost calculate. Alegerea mării de oțel, în acest caz, va trebui, deci să se îndrepte întotdeauna spre zona superioară a gamei de oțeluri utilizate.

Dacă, de exemplu, condițiile de lucru arată că se poate alege între mărcile de oțel OL 37, OL 44 și OL 52, se va alege mar- ca OL 52. Acest lucru explică, de exemplu, de ce numeroase structuri și brațe de macara sînt confecționate - de cele mai multe ori - din OL 52, în timp ce structurile screperelor și buldozerelor din OCS 58 și OCS 90.

#### 6.1.3.4. Oțeluri rezistente la uzură prin abraziune

În cazul uzurii prin abraziune, alegerea este delicată și ea trebuie condusă, în primul rînd, în funcție de importanța problemei de abraziune pe care trebuie s-o rezolve proiectantul, în comparație cu celelalte probleme de rezolvat:

- dacă soliditatea ansamblului, foarte solicitat, este la fel de importantă, proiectantul trebuie să se oprească la mărcile OCS 58 și OCS 90;

- dacă construcția este simplă și este vorba de o abraziune normală, dar intensă, iar unele șocuri puțin importante sînt incomodate prin zgomotul pe care-l produc, proiectantul este bine să adopte soluția cauciucării sau îmbrăcării în mase plastice;

- dacă abraziunea este primordială, iar produsul foarte cald sau prezintă muchii vii, proiectantul - ținînd seama de intensitatea șocului - va alege între 20Mn10 sau 120Mn120, cu mențiunea că această ultimă marcă de oțel este foarte dificil de sudat și prelucrat; cel mai mic șoc sau cea mai mică presiune de contact îl ecrusează puternic și-l face practic neprelucrabil.

#### 6.1.3.5. Oțeluri pentru ples mecanice sudate

În cazul pieselor mecanice sudate, alegerea mării de oțel este ghidată de următoarele două criterii principale:

- caracteristicile mecanice: limită de curgere, rezistență la rupere, duritate etc;
- posibilitățile de aplicare a unui tratament termic sau mecanic.



## 6.2. Oțeluri pentru organe și alte elemente componente de mașini

În cazul oțelurilor destinate acestui domeniu de întrebuințare, stabilirea cu exactitate a tipurilor de solicitare, a nivelului tensiunilor aplicate și a dimensiunilor piesei constituie operațiile primordiale ale activității de proiectare, în faza alegerii materialului. Acest lucru nu este, întotdeauna, ușor, dar de precizia acestor operații depinde, în mod esențial, calitatea piesei proiectate, comportarea sa în serviciu și prețul său de revenire și în exploatare.

Principalele genuri de solicitări cărora le sînt supuse piesele mecanice sînt următoarele:

- tracțiune sau compresiune simplă;
- răsucire;
- oboseală, rezultînd din solicitările alternante, frecvente;
- șocurile;
- uzura.

Aceste solicitări pot fi simple sau compuse și, în acest ultim caz, alegerea mărcii de oțel va constitui compromisul necesar între posibilitățile de rezistență ale mărcii la fiecare tip de solicitare.

În sfîrșit, alegerea trebuie să aibă în vedere că solicitarea piesei ce se proiectează are loc la temperaturi normale, înalte sau joase.

După tipul solicitării, al doilea criteriu de alegere îl constituie dimensiunile piesei, deoarece piesele masive reacționează total diferit față de piesele ușoare sau cele zvelte.

În ceea ce privește semifabricatul inițial, dintre numeroasele elemente care pot influența această alegere semnalăm:

- piesele turnate sînt indicate pentru a rezista la uzură și la compresiune; ele necesită serii relativ importante;
- piesele forjate și barele laminate rezistă la toate celelalte solicitări, dar și la uzură și compresiune; acestea se diferențiază între ele, mai ales prin importanța seriilor și forma pieselor finite.

Alegerea mărcii de oțel este legată direct de nivelul solicitării și de masivitatea pieselor ce se proiectează. Fără a constitui o soluție general valabilă, abaca din figura 6.10 reprezintă un mijloc rapid și eficient pentru desemnarea mărcii care corespunde cel mai bine construcției unei piese la care se cunoaște diametrul (grosimea secțiunii transversale).

Zona hașurată este valabilă pentru toate condițiile normale de elaborare, prelucrare și tratament, în timp ce zonele punctate corespund unor condiții îngrijite de elaborare, prelucrare și tratament.



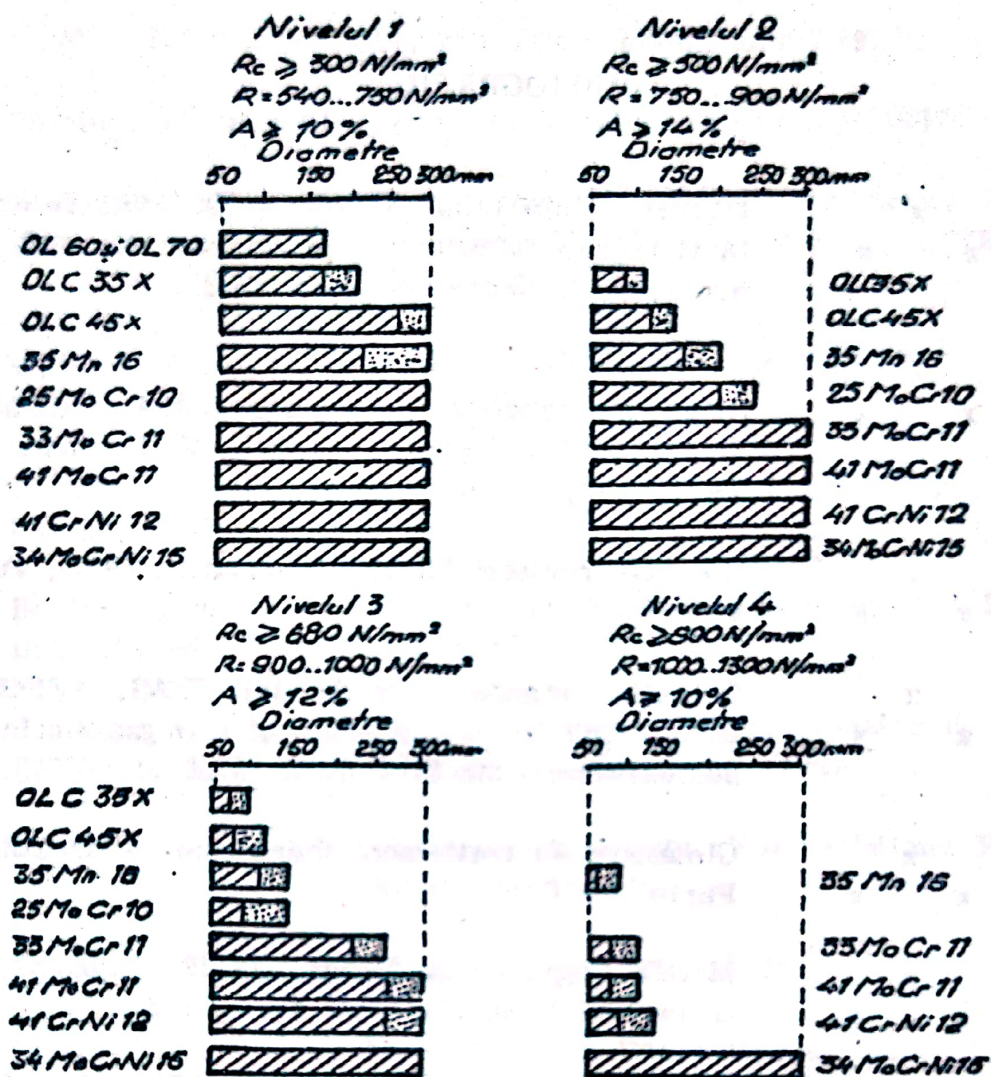


Fig. 6.10. Abacă pentru alegerea mărcii de oțel pentru organe și ale elemente componente de mașini, în funcție de diametrul piesei și caracteristicile mecanice necesare (fiecare marcă de oțel cu excepția oțelurilor OL 60 și OL 70 se tratează conform standardelor)

Abace de felul celei prezentate în figura 6.10 pot fi stabilite și înscrise în normativele de alegere a oțelurilor, elaborate de institutele de proiectări și inginerie tehnologică pentru toate mărcile de oțel destinate construcțiilor mecanice, constituind un prețios și util mijloc de ghidare a proiectanților în faza de alegere.



## BIBLIOGRAFIE

- |     |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>Decretul Consiliului de Stat nr. 99/1980 referitor la tipizarea mărcilor și produselor din oțel și proiectul de decret revizuit 1983</p>  |
| 2   | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>Atlas des courbes de transformations des aciers de fabrication française, IRSID, St. Germain en Laye, 1974</p>                            |
| 3.  | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>Colecția revistei "Aciers spéciaux" SPAS, Paris, 1970-82</p>                                                                              |
| 4.  | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>Colecțiile standardelor de stat: STAS, AFNOR, DIN, GOST și JIS, precum și a organismelor de standardizare din SUA (AISI, SAE și ASTM)</p> |
| 5.  | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>Glossaire du traitement thermique, PYC Editions, Paris, 1976</p>                                                                          |
| 6.  | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>Metals Engineering Design, ASME Handbook, Mc Graw Hill Book Co, New York, 1965</p>                                                        |
| 7.  | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>Metals Handbook, vol.1, ed.9, ASM, New York, 1980</p>                                                                                     |
| 8.  | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>La ruptures des aciers, colecția IRSID - OTUA, Paris, 1975</p>                                                                            |
| 9.  | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>Spravocinik po mašinostroitel'nim materialam, Ed. Maszhiz, Moscova, 1979</p>                                                              |
| 10. | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>Steel products manual, AISI, New York, 1976</p>                                                                                           |
| 11. | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> <div style="text-align: center;">x</div> </div> | <p>Stahlberatungstelle-Qualität und Edelstähle der DDR, Leipzig, 1966</p>                                                                    |



12. Albert, E. V.                      Steel, 5 apr/1948
13. Almen, J. O.                      Product Engineering, iunie 1957
14. Antoine, L. și alții      Révue de Métallurgie, nr. 7-8/1967
15. Bastenaire, F și alții      Rupture par fatigue sous contrainte d'amplitude variable en cours d'essai, OCDE, Paris 1966
16. Bastien, P și Popof, A      Métaux et Corrosion, nr. 29/1948
17. Barklie, R.H.D. și Davies, H.J.      Institute of Mechanical Engineering, mai/1930
18. Bühler, H și Bucholtz, K      Mitteilungen Forschung Institut, vol. 3, nr. 8, Dortmund, 1933
19. Buzdugan Gh. și Blumenfeld, M      Calculul de rezistență al pieselor de mașini, Ed. Tehnică, București, 1979
20. Cahn, R.W.                      Physical Metallurgy, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1970
21. Cazaud, R.                      Chimie et Industrie, 1938
22. Cazaud, R.                      Symposium on Properties of Metallic Surfaces, Institute of Metals, 1953
23. Cazaud, R., Pomey, G și alții      La fatigue des métaux, Dumod, Paris, 1969
24. Cioclov, D.                      Mecanica ruperii materialelor, Ed. Academiei R. S. R., București, 1977
25. Constantinescu, A.              Revista Economică, nr. 51/1976
26. Constantinescu, A.              Era Socialistă, nr. 21/1982
27. Constantinescu, A. și alții      Indreptar de fonte și oțeluri, Ed. Tehnică, București, 1969



28. Constantinescu, A și alții Fluaful metalelor, Ed. Tehnică, București, 1970
29. Cummings, H.N. și alții Trans. ASM, vol.49, New York, 1957
30. Daevs, K și alții Stahl and Eisen, vol.60, febr. 1940
31. Dieter, D.E. jr. Metalurgia mecanică (traducere din limba engleză), Ed. Tehnică, București, 1970
32. Dinner, H. și Felix, W. Révue technique Sulzer nr.1/1945
33. Ellender, W. și alții Metallobefläche, nr.3/1949, A 163
34. Faupel, J. Engineering Desing, J. Wiles and Sons, New York, 1964
35. Forrest, G. și Tapsel, J. Proc. of the Inst. of mech. eng., vol.168, nr.29, New York, 1964
36. French, H.I. Trans. of ASST, vol. 21, New York, 1933
37. Genty, P. L'industrie française, Achats et Entretien, nr.323/1980 și 330/1981
38. Grover, H.J. și alții Fatigue of metals and structures, Batelle Mem.Inst.NAV WEPS, 0025-534, 1960
39. Henry, G. și alții Microfractographie (2 vol.) Ed. Métaux, St. Germain en Laye, 1970
40. Hertel, H. Ermüdungsfestigkeit der Konstruktionen, Springer Verlag, Berlin, 1969
41. Hume-Rothery, W și Wyllie, M.R.J. Proc. Roy.Soc A 181, 1943
42. Kommers, J.B. Engineering, 28 mai și 11 iunie 1937



43. Krouse, G. Proc. of ASTM, vol. 34, New York, 1934
44. Kuslitskii, A. B. Stal, nr. 2/1968  
și alții
45. Ivanova, V.S. și Izvesti "Akademiia Nauk" nr. 1/1957  
Oding, I. A.
46. Jasper, T.M. și Metal Progress, iulie/1950  
Stewart, W.C.
47. Lașcu-Simion, N. Contribuții la stabilirea unei metodologii de calcul la solicitări variabile la temperaturi superioare mediului ambiant, teză de doctorat, Timișoara, 1970
48. de Leiris, H. L'analyse morphologique des cassures, ENS du Génie Maritime, Imp.Nat., Paris, 1965
49. Lomas, T și alții International Conference on Fatigue of Metals, Londra, 1956
50. Mattson, R.L. și Internal Stresses and Fatigue in Metals, Elsevier Roberts, J.G. Publ. Co., New York, 1959
51. Millet, N. și Bases de choix des aciers résistant à l'abrasion,  
Murry, G. OTUA, Paris, 1977
52. Mocanu, D.R. și Incercarea materialelor, vol. 1, Ed. Tehnică, București, 1982
53. Murry, G. și Bases de choix des aciers en construction mécanique, OTUA, Paris, 1979
54. Nădășan, Șt. și Oboseala metalelor, Ed. Tehnică, București, 1962  
alții
55. Oschatz, H. Gesetzmässigkeiten des Dauerbruches und Wege zur Steigerung der Dauerhaltbarkeit, Mitteilungen der MPA, caietul 2, Darmstedt, 1933
56. Pattison, E. J. și Metallurgia, nr. 11/1962  
Duzdale, D.S.



57. Peterson, R.E. Interpretation of Service Fractures, Handbook of Experimental Stress Analysis, J. Wiley and Sons, New York, 1950
58. Pomey, G. și Rabbe, P. Rupture de fatigue de pièces de machines, Dunod, Paris, 1968
59. Pomey, J. și Ancelle, A. Commission d'étude de la corrosion des produits métallurgique de l'aviation, Paris, 1936-37
60. Pomey, J. Révue de Métallurgie, nr.1 și 2/1949
61. Rabbe, P. Application de la mécanique des ruptures à l'étude de la fissuration en fatigue, IRSID, St. Germain en Laye, 1968
62. Ransom, J.T. Trans. ASM, New York, 1954
63. Sanz, G. Essai de mise au point d'une méthode quantitative pour le choix des qualités d'aciers vis-à-vis du risque de rupture fragile, colectia Normes et Techniques, AFNOR, Paris, 1981
64. Sims, C.E. Trans. of the metallurgical Soc. of AIME, t 215, nr.3/1959
65. Thum, T.A. și Manteuffell, R.Z. ATZ, 25 iulie/1943
66. Wegst, C.W. Stahlschlüssel, Verlag Stahlschlüssel Wegst, Marbach, 1980
67. Welsz, M. Journées d'automne de la SFM, Paris, 1957
68. Wever, F. Proc.Intern. Conf on Fatigue of Metals, Londra, 1956
69. Wiegand, H. și Scheinost, R. VDI, 29 mai/1939
70. Williams, C. și Hammond, R.A.F. Trans.Inst.Metal Finishing, vol.34/1957
71. Wood, W.A. Journal of the Institute of Metals, vol.91,nr.6/1963